

Operação de uma Rede de Distribuição num Contexto de Smart Grid

MARIA HELENA RODRIGUES LORGA NUNES DE MIRANDA

julho de 2017

OPERAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NUM CONTEXTO DE SMART GRID

Maria Helena Rodrigues Lorga Nunes de Miranda



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

(Página intencionalmente deixada em branco)

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Maria Helena Rodrigues Lorga Nunes de Miranda, N° 1090329,
1090329@isep.ipp.pt

Orientação científica: Sérgio Filipe Carvalho Ramos, scr@isep.ipp.pt

GECAD – Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a
Inovação e o Desenvolvimento

Supervisão: Bruno Miguel da Rocha Canizes, brmrc@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

(Página intencionalmente deixada em branco)

Para ser grande, sê inteiro: nada
Teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive.

Ricardo Reis, in “Odes”
Fernando Pessoa (1888 – 1935)

(Página intencionalmente deixada em branco)

Agradecimentos

O desafio de desenvolver esta dissertação, para término do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia, só pôde ser superado com o contributo de inúmeras pessoas e instituições que depositaram a sua confiança e o seu apoio para que este pudesse ser alcançado com sucesso.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Sérgio Ramos, e co-orientador, Engenheiro Bruno Canizes, pela confiança, ajuda e empenho na obtenção e realização desta dissertação, que em muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica e científica. Agradeço ao GECAD – Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento, pelo acolhimento e pela possibilidade que me foi dada para que a realização da presente dissertação fosse possível.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus amigos e colegas cujo apoio e amizade estiveram em todos os momentos.

Agradeço ao meu namorado Nelson, por ter caminhado sempre ao meu lado, por ter estado sempre presente com palavras de apoio, encorajamento e toda a ajuda que foi essencial para percorrer este percurso.

Ainda que por último, a palavra mais especial vai para a minha família por todo o apoio que sempre me deram e por sempre acreditarem em mim. Agradeço, em particular, à minha mãe Jacinta, o meu ídolo, por todos os conselhos, por todas as palavras de incentivo, por toda a força e por todos os ensinamentos de vida que me fizeram ser a pessoa que sou hoje. E claro, pelas recomendações incansáveis ao longo da elaboração deste relatório. Espero que esta etapa, que agora termino, possa de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que, constantemente, me foi oferecido.

A todos, o meu sincero obrigado.

(Página intencionalmente deixada em branco)

Resumo

Os Sistemas Elétricos de Energia têm sentido algumas transformações provenientes da alteração dos consumos e da utilização feita nas infraestruturas que contemplam as redes elétricas nacionais. Assim, alguns fatores têm vindo integrar o desafio constante no setor elétrico como o crescente aumento da carga, a utilização de fontes de energias renováveis, a inserção da produção distribuída, a liberalização do setor elétrico, bem como as tendências futuras, por exemplo a massificação dos veículos elétricos. Neste sentido, as redes de distribuição atuais encontram-se em mudança e a evoluir para redes que se querem mais controláveis e de ação mais rápida, sendo então criado o conceito de *Smart Grid* que permite efetuar o controlo das redes de forma mais inteligente e eficiente face às redes tradicionais.

A otimização na operação e reconfiguração das redes de distribuição em média tensão é fundamental para a garantia da satisfação de todos os requisitos técnico-económicos. O equilíbrio entre a oferta e a procura é fulcral para uma boa utilização das redes e, por isso, o desenvolvimento de ferramentas que permitam otimizar essa atividade ganha extrema relevância.

O problema da operação e reconfiguração das redes de distribuição em média tensão tem sido alvo de inúmeros estudos que contribuem para o seu desenvolvimento, e nesta dissertação, o problema é formulado com as não linearidades respeitantes ao seu tratamento matemático, com recurso a técnicas de otimização determinísticas, no contexto de *Smart Grid* com elevada penetração de produção distribuída, até hoje ainda pouco explorada. Desta forma, são apresentados os métodos de otimização e modelização, assim como todo o conjunto de restrições técnicas inerentes à exploração, operação e reconfiguração da rede de distribuição. Dada a complexidade do problema, este é decomposto em dois subproblemas, preconizando a obtenção da solução ótima em tempo útil, através da Decomposição de Benders.

Os resultados apresentados, considerando a função objetivo e as respetivas restrições, refletem a aplicação da metodologia adotada para a operação e reconfiguração das duas redes distintas testadas, em situações de contingência, que poderá ser aplicada em qualquer rede de distribuição, independentemente da sua grandeza e topologia.

Esta dissertação dá continuidade a trabalhos já desenvolvidos na área da operação e reconfiguração das redes de distribuição em média tensão e tem como principais contributos

trazer conceitos inovadores, desde a vasta introdução de produção distribuída como a inserção de novas tecnologias, nomeadamente os parques destinados a carregamentos de veículos elétricos, bem como a introdução de sistemas de armazenamento de energia na rede. Recorrendo a técnicas de otimização determinísticas, esta metodologia minimiza os custos totais de operação bem como mantém a qualidade de serviço e preserva a segurança associada à operação e reconfiguração das redes de distribuição.

Assim, foi criada uma ferramenta que, em tempo útil, permite obter os resultados para a operação e reconfiguração da rede de distribuição de forma ótima. Esta ferramenta tem o nome de OP-Intel e, pela análise de resultados, comprova-se a adequação e robustez da OP-Intel, que, com o baixo tempo de processamento, poderá vir a integrar *softwares* de apoio à decisão na operação das redes de distribuição em média tensão.

Palavras-Chave

Decomposição de Benders, Operação e reconfiguração da rede de distribuição, OP-Intel, Redes de distribuição, *Self-Healing*, *Smart Grid*, Trânsito de potências ótimo

Abstract

The Electric Power Systems have been experiencing some transformations resulted from changes in consumption and utilization of the infrastructures that include the national electricity networks. Thus, some factors have been integrating the constant challenge in the electric sector, such as the increasing load, the use of renewable energy sources, the penetration of distributed generation, the liberalization of the electric sector, as well as future trends, for instance the massification of electric vehicles. Therefore, the current distribution networks are changing and evolving to networks that are more controllable and with quicker action, creating the concept of Smart Grid that allows to control networks more intelligently and efficiently than traditional networks.

Optimization in the operation and reconfiguration of the medium voltage distribution networks is fundamental to guarantee the satisfaction of all technical-economic requirements. The balance between supply and demand is crucial for a good use of the networks and, consequently, the development of tools to optimize this activity is extremely relevant.

The problem of the distribution networks operation and reconfiguration has been the subject of several studies that contribute to its development. In this dissertation, the problem is formulated with the nonlinearities related to its mathematical treatment using deterministic optimization techniques, in the Smart Grid context with a high penetration of distributed generation, until now still low explored. In this way, the optimization and modeling methods are presented, as well as the set of technical constraints inherent to the exploration, operation and reconfiguration of the distribution network. Due to the complexity of the problem, it was necessary to decompose it into two sub-problems, trying to get the optimal solution in useful time through the Benders Decomposition.

The results presented, considering the objective function and the corresponding constraints, reflect the application of the methodology adopted for the operation and reconfiguration of two distinct networks in contingency situations, that can be applied in any distribution network, regardless of their size or topology.

This dissertation continues work already developed in the area of operation and reconfiguration of medium voltage distribution networks and has as main contributions to bring innovative concepts, from the massive penetration of distributed generation as the

insertion of new technologies, specifically the parks for loading of electric vehicles, as well as the introduction of energy storage systems in the networks. Using deterministic optimization techniques, this method minimizes the total costs of operation as well as keep the quality of service and preserve the safety associated with the operation and reconfiguration of the distribution networks.

Thus, a tool was created that, in a useful time, allows to do the operation and reconfiguration of the distribution network with the optimum results. This tool is named OP-Intel and, based on analysis of results, it was proven the suitability and robustness of the OP-Intel, which with the low processing time, can integrate decision support software in the operation of medium voltage distribution networks.

Keywords: Benders Decomposition, Distribution networks, Operation and reconfiguration of distribution network, OP-Intel, Optimal Power Flow, Self-Healing, Smart Grid.

Índice

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract.....	xi
Índice de Figuras	xix
Índice de Tabelas	xxi
Siglas e Acrónimos.....	xxv
Notação	xxvii
1. Introdução.....	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação.....	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Calendarização	4
1.5 Organização do relatório	4
2.1 Smart Grid.....	7
2.2 Tecnologias da comunicação	9
2.3 Self-healing	10
2.4 Demand response	11
2.4.1 Controlo direto da carga	12
2.4.2 Tarifas de interrupção/redução	12
2.4.3 Programas de demand response de contingência.....	12
2.4.4 Programas de capacidade de mercado	12
2.4.5 Programas de licitação/recompra	13
2.5 Produção distribuída.....	13

2.6	Redes de distribuição	16
2.6.1	Elementos constituintes da rede de distribuição	17
2.6.2	Estrutura topológica e exploração das redes de distribuição	19
2.6.3	Rede de distribuição em Portugal	20
2.7	Trânsito de potências ótimo	22
2.8	Operação e reconfiguração da rede de distribuição	24
2.9	Sumário	28
3.	Métodos de Otimização e Modelização	29
3.1	Técnica de otimização.....	29
3.2	Otimização mono-objetivo.....	31
3.3	Sistema “por unidade” (p.u.).....	31
3.3.1	Bases.....	32
3.4	Perdas do sistema	33
3.5	Matriz das admitâncias	35
3.6	Decomposição de Benders.....	39
3.7	Formulação quadrática da metodologia proposta	43
3.7.1	Função objetivo do subproblema “mestre”	43
3.7.2	Restrições do subproblema “mestre”	44
3.8	Formulação não linear da metodologia proposta	52
3.8.1	Função objetivo do subproblema “escravo”	53
3.8.2	Restrições do subproblema “escravo”	54
3.9	Sumário	59
4.	Estudos de Casos.....	61
4.1	Operação e reconfiguração da rede de distribuição	61
4.2	Estudos de caso – Rede de testes	64
4.2.1	Topologia inicial.....	66
4.2.2	Simulação 1	72

4.2.3	Simulação 2.....	75
4.2.4	Síntese dos resultados – estado inicial/simulações	78
4.3	Estudos de caso – Rede real	81
4.3.1	Topologia inicial – Período 1 (12 h).....	83
4.3.2	Simulação 1 – Período 1 (12 h)	87
4.3.3	Topologia inicial – 20 h	90
4.3.4	Simulação 2 – Período 2 (20 h)	94
4.3.5	Síntese dos resultados – estado inicial/simulações	98
4.4	Sumário e conclusões dos estudos de casos	102
5.	Conclusão	103
5.1	Conclusões finais.....	103
5.2	Principais contributos.....	106
5.3	Trabalhos futuros.....	107
	Referências Documentais	109
	Anexos e apêndices	113
A.1	Rede de testes	115
A.1.1	Dados da rede de testes – Produções.....	115
A.1.2	Dados da rede de testes – Cargas	115
A.1.3	Dados da rede de testes – SAE e PVE	115
A.1.4	Dados da rede de testes – Características das linhas.....	116
A.1.5	Rede de testes – Resultados: Topologia inicial	117
A.1.5.1	Custos gerais	117
A.1.5.2	Produções.....	117
A.1.5.3	Demand Response.....	117
A.1.5.4	Descarga do SAE	118
A.1.5.5	Alimentadores	118
A.1.5.6	Fluxos de potência	118

A.1.5.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	119
A.1.6	Rede de testes – Resultados: Simulação 1	120
A.1.6.1	Custos gerais.....	120
A.1.6.2	Produções.....	120
A.1.6.3	Demand Response	120
A.1.6.4	Descarga do SAE.....	121
A.1.6.5	Alimentadores.....	121
A.1.6.6	Fluxos de potência	121
A.1.6.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	122
A.1.7	Rede de testes – Resultados: Simulação 2	123
A.1.7.1	Custos gerais.....	123
A.1.7.2	Produções.....	123
A.1.7.3	Demand Response	123
A.1.7.4	Descarga do SAE.....	124
A.1.7.5	Alimentadores.....	124
A.1.7.6	Fluxos de potência	124
A.1.7.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	125
A.2	Rede real	126
A.2.1	Dados da rede real – Produções – Período 1	126
A.2.2	Dados da rede real – Produções – Período 2.....	129
A.2.3	Dados da rede real – Cargas – Período 1	132
A.2.4	Dados da rede real – Cargas – Período 2	134
A.2.5	Dados da rede real – SAE e PVE – Períodos 1 e 2	136
A.2.6	Dados da rede real – Características das linhas	137
A.2.7	Rede real – Resultados: Topologia inicial – Período 1	146
A.2.7.1	Custos gerais.....	146
A.2.7.2	Produções.....	146

A.2.7.3	Demand Response.....	149
A.2.7.4	Descarga do SAE	151
A.2.7.5	Alimentador	151
A.2.7.6	Fluxos de Potência	152
A.2.7.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	156
A.2.8	Rede real – Resultados: Simulação 1	161
A.2.8.1	Custos gerais	161
A.2.8.2	Produções.....	161
A.2.8.3	Demand Response.....	164
A.2.8.4	Descarga do SAE	166
A.2.8.5	Alimentador	167
A.2.8.6	Fluxos de Potência	167
A.2.8.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	171
A.2.9	Rede real – Resultados: Topologia inicial – Período 2	176
A.2.9.1	Custos gerais	176
A.2.9.2	Produções.....	176
A.2.9.3	Demand Response.....	179
A.2.9.4	Descarga do SAE	181
A.2.9.5	Alimentador	181
A.2.9.6	Fluxos de potência	182
A.2.9.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	186
A.2.10	Rede real – Resultados: Simulação 2	191
A.2.10.1	Custos gerais	191
A.2.10.2	Produções.....	191
A.2.10.3	Demand response	194
A.2.10.4	Descarga do SAE	196
A.2.10.5	Alimentador	197

A.2.10.6	Fluxos de potência	197
A.2.10.7	Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos	201

Índice de Figuras

Figura 1 - Calendarização da dissertação	4
Figura 2 - Esquema unifilar de um SEE [16]	16
Figura 3 - Estrutura topológica das redes de distribuição	19
Figura 4 - Diagrama de estados de funcionamento da rede de distribuição	25
Figura 5 - Rede exemplo para criação de matriz das admitâncias [36]	35
Figura 6 - Fluxograma representativo da metodologia da decomposição de Benders	42
Figura 7 - Rede de testes – Diagrama unifilar da rede de distribuição	65
Figura 8 - Rede de testes – Topologia inicial	66
Figura 9 - Rede de testes – Topologia inicial – TPO linear (subproblema “Mestre”)	67
Figura 10 - Rede de testes – Topologia inicial – TPO-CA (subproblema “Escravo”)	68
Figura 11 - Rede de testes – Gráfico das tensões nos barramentos – Topologia inicial	69
Figura 12 - Rede de testes – Falhas simuladas	71
Figura 13 - Rede de testes – Topologia da simulação 1 – TPO linear (“Mestre”)	72
Figura 14 - Rede de testes – Topologia da simulação 1 – TPO-CA (“Escravo”)	73
Figura 15 - Rede de testes – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 1	75
Figura 16 - Rede de testes – Topologia da simulação 2 – TPO linear (“Mestre”)	76
Figura 17 - Rede de testes – Topologia da simulação 2 – TPO-CA (“Escravo”)	76
Figura 18 - Rede de testes – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 2	78
Figura 19 - Rede de testes – Gráficos para comparação de resultados	80
Figura 20 - Rede real – Diagrama unifilar da rede de distribuição	82
Figura 21 - Diagrama de carga – Dia típico	83
Figura 22 - Rede real – Topologia inicial – Período 1	84
Figura 23 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Topologia inicial (P.1)	86
Figura 24 - Rede real – Topologia da simulação 1	87

Figura 25 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 1 (P.1)	89
Figura 26 - Rede real – Topologia inicial – Período 2	90
Figura 27 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Topologia inicial (P.2)....	93
Figura 28 - Rede real – Topologia da simulação 2	94
Figura 29 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 2	96
Figura 30 - Rede real – Custo total – Comparações (P. 1).....	99
Figura 31 - Rede real – Custo das perdas – Comparações (P. 1).....	99
Figura 32 - Rede real – Custo total – Comparações (P. 2).....	101
Figura 33 - Rede real – Custo das perdas – Comparações (P. 2).....	101

Índice de Tabelas

Tabela 1 - A RD em Portugal – Instalações e equipamentos em serviço	21
Tabela 2 - Rede de testes – Alimentadores – Topologia inicial	70
Tabela 3 - Rede de testes – Custos – Topologia inicial.....	70
Tabela 4 - Rede de testes – Perdas totais – Topologia Inicial	71
Tabela 5 - Rede de testes – Custos – Simulação 1	73
Tabela 6 - Rede de testes – Perdas totais – Simulação 1	74
Tabela 7 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 1	74
Tabela 8 - Rede de testes – Custos – Simulação 2	77
Tabela 9 - Rede de testes – Perdas totais – Simulação 2	77
Tabela 10 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 2.....	77
Tabela 11 - Rede de testes – Comparações – Estado inicial/Simulações.....	79
Tabela 12 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Topo. Inicial (P.1)	85
Tabela 13 - Rede real – Custos – Topologia inicial (P. 1).....	85
Tabela 14 - Rede real – Perdas totais – Topologia Inicial (P. 1).....	85
Tabela 15 - Rede real – Alimentadores – Topologia inicial (P. 1).....	86
Tabela 16 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Simulação 1 (P. 1).....	88
Tabela 17 - Rede real – Custos – Simulação 1 (P. 1)	88
Tabela 18 - Rede real – Perdas totais – Simulação 1 (P. 1).....	88
Tabela 19 - Rede real – Alimentador – Simulação 1 (P. 1).....	89
Tabela 20 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Topo. Inicial (P. 2)	91
Tabela 21 - Rede real – Custos – Topologia inicial (P. 2).....	92
Tabela 22 - Rede real – Perdas totais – Topologia Inicial (P. 2).....	92
Tabela 23 - Rede real – Alimentadores – Topologia inicial (P. 2).....	92
Tabela 24 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Simulação 2 (P. 2).....	95

Tabela 25 - Rede real – Custos – Simulação 2 (P. 2).....	95
Tabela 26 - Rede real – Potência não entregue na simulação 2 (P. 2)	97
Tabela 27 - Rede real – Perdas totais – Simulação 2 (P. 2)	97
Tabela 28 - Rede real – Alimentador – Simulação 2 (P. 2)	97
Tabela 29 - Rede real – Comparações – Estado inicial/Simulações (P. 1)	98
Tabela 30 - Rede real – Comparações – Estado inicial/Simulações (P. 2)	100
Tabela 31 - Dados da rede de testes – Produções	115
Tabela 32 - Dados da rede de testes – Cargas	115
Tabela 33 - Dados da rede de testes – Sistemas de armazenamento de energia	115
Tabela 34 - Dados da rede de testes – PVE.....	116
Tabela 35 - Dados da rede de testes – Características das linhas.....	116
Tabela 36 - Rede de testes – Custos gerais – Topologia inicial.....	117
Tabela 37 - Rede de testes – Produções – Topologia inicial.....	117
Tabela 38 - Rede de testes – Demand Response – Topologia inicial	117
Tabela 39 - Rede de testes – Descarga do SAE – Topologia inicial.....	118
Tabela 40 - Rede de testes – Alimentadores – Topologia inicial.....	118
Tabela 41 - Rede de testes – Fluxos de potência – Topologia inicial	118
Tabela 42 - Rede de testes –Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – T.I.	119
Tabela 43 - Rede de testes – Custos gerais – Simulação 1	120
Tabela 44 - Rede de testes – Produções – Simulação 1	120
Tabela 45 - Rede de testes – Demand Response – Simulação 1	120
Tabela 46 - Rede de testes – Descarga do SAE – Simulação 1	121
Tabela 47 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 1	121
Tabela 48 - Rede de testes – Fluxos de potência – Simulação 1.....	121
Tabela 49 - Rede de testes – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.1.....	122
Tabela 50 - Rede de testes – Custos gerais – Simulação 2	123
Tabela 51 - Rede de testes – Produções – Simulação 2	123

Tabela 52 - Rede de testes – Demand Response – Simulação 2	123
Tabela 53 - Rede de testes – Descarga do SAE – Simulação 2.....	124
Tabela 54 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 2.....	124
Tabela 55 - Rede de testes – Fluxos de potência – Simulação 2.....	124
Tabela 56 - Rede de testes – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.2.....	125
Tabela 57 - Dados da rede real – Produções – Período 1	126
Tabela 58 - Dados da rede real – Produções – Período 2	129
Tabela 59 - Dados da rede real – Cargas – Período 1.....	132
Tabela 60 - Dados da rede real – Cargas – Período 2.....	134
Tabela 61 - Dados da rede real – Sistemas de armazen. de energia – Períodos 1 e 2	136
Tabela 62 - Dados da rede real – PVE – Períodos 1 e 2.....	137
Tabela 63 - Dados da rede real – Características das linhas.....	137
Tabela 64 - Rede real – Custos gerais – Topologia inicial (P.1).....	146
Tabela 65 - Rede real – Produções – Topologia inicial (P.1).....	146
Tabela 66 - Rede real – Demand Response – Topologia inicial (P.1).....	149
Tabela 67 - Rede real – Descarga do SAE – Topologia inicial (P.1).....	151
Tabela 68 - Rede real – Alimentador – Topologia inicial (P.1)	151
Tabela 69 - Rede real – Fluxos de potência – Topologia inicial (P.1)	152
Tabela 70 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – T.I. (P.1).....	156
Tabela 71 - Rede real – Custos gerais – Simulação 1 (P.1).....	161
Tabela 72 - Rede real – Produções – Simulação 1 (P.1)	161
Tabela 73 - Rede real – Demand Response – Simulação 1 (P.1)	164
Tabela 74 - Rede real – Descarga do SAE – Simulação 1 (P.1).....	166
Tabela 75 - Rede real – Alimentador – Simulação 1 (P.1).....	167
Tabela 76 - Rede real – Fluxos de potência – Simulação 1 (P.1).....	167
Tabela 77 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.1 (P.1).....	171
Tabela 78 - Rede real – Custos gerais – Topologia inicial (P.2).....	176

Tabela 79 - Rede real – Produções – Topologia inicial (P.2)	176
Tabela 80 - Rede real – Demand Response – Topologia inicial (P.2)	179
Tabela 81 - Rede real – Descarga do SAE – Topologia inicial (P.2).....	181
Tabela 82 - Rede real – Alimentadores – Topologia inicial (P.2).....	181
Tabela 83 - Rede real – Fluxos de potência – Topologia inicial (P.2).....	182
Tabela 84 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – T.I. (P.2).....	186
Tabela 85 - Rede real – Custos gerais – Simulação 2 (P.2)	191
Tabela 86 - Rede real – Produções – Simulação 2 (P.2)	191
Tabela 87 - Rede real – Demand Response – Simulação 2 (P.2).....	194
Tabela 88 - Rede real – Descarga do SAE – Simulação 2 (P.2)	196
Tabela 89 - Rede real – Alimentador – Simulação 2 (P.2)	197
Tabela 90 - Rede real – Fluxos de potência – Simulação 2 (P.2)	197
Tabela 91 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.2 (P.2)	201

Siglas e Acrónimos

AT	– Alta Tensão;
BT	– Baixa Tensão;
DGEG	– Direção Geral de Energia e Geologia;
DR	– Resposta ativa da carga ¹ ;
FER	– Fontes de Energia Renováveis;
FO	– Função Objetivo;
MILP	– Programação Linear Inteira Mista ² ;
MINLP	– Programação Não Linear Inteira Mista ³ ;
MT	– Média Tensão;
NLP	– Programação Não Linear ⁴ ;
OMI	– Operador de Mercado Ibérico;
PD	– Produção Distribuída;
PNE	– Potência Não Entregue;
RDBT	– Rede de Distribuição em Baixa Tensão;
RESP	– Rede Elétrica de Serviço Público;
RND	– Rede Nacional de Distribuição;
RNT	– Rede Nacional de Transporte;
SAE	– Sistema de Armazenamento de Energia;

¹ Em inglês: *Demand Response*

² Em inglês: *Mixed Integer Linear Programming*

³ Em inglês: *Mixed Integer Nonlinear Programming*

⁴ Em inglês: *Nonlinear Programming*

- SEE – Sistemas Elétricos de Energia;
- TPO – Trânsito de Potências Ótimo;
- TPO-CA – Trânsito de Potências Ótimo em Corrente Alternada;
- UE – União Europeia;
- UPAC – Unidades de Produção para Autoconsumo;
- UPP – Unidade de Pequena Produção.

Notação

$B_{i,j}$	– Susceptância da linha entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
$EVChar_i$	– Valor de carregamento de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
$EVChar_i^{máx}$	– Limite máximo de carregamento de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
$EVXChar_i$	– Variável binária para carregamento de parque para veículos elétricos no barramento i ;
$EVDsc_i$	– Valor de descarga de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
$EVDsc_i^{máx}$	– Limite máximo de descarga de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
$EVXDsc_i$	– Variável binária para descarga de parque para veículos elétricos no barramento i ;
$G_{i,j}$	– Condutância da linha entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
I_b	– Corrente de base, em $p.u.$;
$I_{i,j}$	– Corrente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
it	– Iteração atual;
$it-1$	– Iteração anterior;
$Losses$	– Perdas de energia no sistema, em $p.u.$;
$Market_i$	– Valor de energia comprado no mercado a prazo no barramento i , em $p.u.$;
$Market_i^{contract}$	– Valor de energia contratado ao mercado a prazo no barramento i , em $p.u.$;

$MarketBuy_i^{máx}$	– Limite máximo de compra de energia no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketSell_i^{máx}$	– Limite máximo de venda de energia no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketXBuy_i$	– Valor de energia comprado no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketXSell_i$	– Valor de energia vendido no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
n_s	– Número de subestações da rede;
N	– Número de barramentos do sistema;
P_j	– Carga ativa no barramento j , em $p.u.$;
$P_{i,j}$	– Potência ativa transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
$P.Aparentes_{i,j}$	– Valor das perdas aparentes entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
$P.Ativas_{i,j}$	– Valor das perdas ativas entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
PDR_i	– Valor de <i>Demand Response</i> ativa no barramento i , em $p.u.$;
$PDR_i^{máx}$	– Valor máximo de <i>Demand Response</i> ativa no barramento i , em $p.u.$;
$PExGen_i$	– Valor de excesso de produção de energia ativa, no barramento i , em $p.u.$;
$PLoad_i$	– Valor da carga ⁵ ativa no barramento i , em $p.u.$;
$Pgen_i$	– Potência ativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
$Pgen_i^{min}$	– Limite mínimo de energia ativa produzida no barramento i , em $p.u.$;

⁵ Em inglês: *Load*

$P_{gen_i}^{máx}$	– Limite máximo de energia ativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
P_{inj_i}	– Potência ativa injetada no barramento i , em $p.u.$;
PNE_i	– Potência não entregue, no barramento i , em $p.u.$;
$P.Reativas_{i,j}$	– Valor das perdas reativas entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
Q_j	– Carga reativa no barramento j , em $p.u.$;
$Q_{i,j}$	– Potência reativa transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
QDR_i	– Valor de <i>Demand Response</i> reativa no barramento i , em $p.u.$;
$QDR_i^{máx}$	– Valor máximo de <i>Demand Response</i> reativa no barramento i , em $p.u.$;
$QExGen_i$	– Valor de excesso de produção de energia reativa, no barramento i , em $p.u.$;
$Qgen_i$	– Potência reativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
$Qgen_i^{min}$	– Limite mínimo de energia reativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
$Qgen_i^{máx}$	– Limite máximo de energia reativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
Q_{inj_i}	– Potência reativa injetada no barramento i , em $p.u.$;
$QLoad_i$	– Valor da carga ⁵ reativa no barramento i , em $p.u.$;
R	– Resistência do condutor, em Ω/km ;
$R_{i,j}$	– Resistência entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
S_b	– Potência aparente de base, em $p.u.$;
$S_{i,j}$	– Potência aparente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;

$S_{i,j}^{m\acute{a}x}$	– Limite máximo de potência aparente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
SDR_i	– Valor de <i>Demand Response</i> aparente no barramento i , em $p.u.$;
$SDR_i^{m\acute{a}x}$	– Valor máximo de <i>Demand Response</i> aparente no barramento i , em $p.u.$;
$SExGen_i$	– Valor de excesso de produção de energia aparente, no barramento i , em $p.u.$;
$Sgen_i$	– Potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;
$Sgen_i^{min}$	– Limite mínimo de potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;
$Sgen_i^{m\acute{a}x}$	– Limite máximo de potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;
$SLoad_i$	– Valor da carga aparente no barramento i , em $p.u.$;
$StChar_i$	– Valor de carregamento do SAE no barramento i , em $p.u.$;
$StChar_i^{m\acute{a}x}$	– Limite máximo de carregamento do SAE no barramento i , em $p.u.$;
$StDsc_i$	– Valor de descarga do SAE no barramento i , em $p.u.$;
$StDsc_i^{m\acute{a}x}$	– Limite máximo de descarga do SAE no barramento i , em $p.u.$;
$StXChar_i$	– Variável binária para carregamento do SAE no barramento i ;
$StXDsc_i$	– Variável binária para descarga do SAE no barramento i ;
U_l	– Tensão no condutor, em V ;
$u_{i,j}$	– Variável binária de existência física de linha entre o barramento i e o barramento j ;
V_b	– Tensão de base, em $p.u.$;
V_i	– Tensão no barramento i , em $p.u.$;

V_i^{min}	– Limite mínimo da tensão no barramento i , em $p.u.$;
V_i^{max}	– Limite máximo da tensão no barramento i , em $p.u.$;
$X_{i,j}$	– Reatância entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
$X_{EVChar(i)}^{it}$	– Variável binária referente ao carregamento do parque destinado a veículos elétricos, no barramento i , da iteração atual;
$X_{EVChar(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente ao carregamento do parque destinado a veículos elétricos, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{MarketBuy(i)}^{it}$	– Variável binária referente à compra de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração atual;
$X_{MarketBuy(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à compra de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior.
$X_{MarketSell(i)}^{it}$	– Variável binária referente à venda de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração atual;
$X_{MarketSell(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à venda de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior;
X_{Sgen}^{it}	– Variável binária referente à produção de energia, no barramento i , da iteração atual;
X_{Sgen}^{it-1}	– Variável binária referente à produção de energia, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{StChar(i)}^{it}$	– Variável binária referente à carga dos SAE, no barramento i , da iteração atual;
$X_{StChar(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à carga dos SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{StDsc(i)}^{it}$	– Variável binária referente à descarga dos SAE, no barramento i , da iteração atual;
$X_{StDsc(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à descarga dos SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{u(i,j)}^{it}$	– Variável binária referente ao funcionamento da linha entre os barramentos i e j , da iteração atual;
$X_{u(i,j)}^{it-1}$	– Variável binária referente ao funcionamento da linha entre os barramentos i e j , da iteração anterior;

y_i	– Variável binária respeitante aos barramentos de transferência;
Z_b	– Impedância de base, em <i>p.u.</i> ;
Z_{up}	– Soma das soluções inviáveis do subproblema “escravo”;
ZA_i , ZQ_i e ZF_i	– Variáveis de relaxação Lagrangeana do barramento i ;
α	– Coeficiente de Lagrange;
θ_i	– Ângulo da tensão no barramento i , em <i>rad</i> ;
θ_i^{min}	– Limite mínimo do ângulo da tensão no barramento i , em <i>rad</i> ;
θ_i^{max}	– Limite máximo do ângulo da tensão no barramento i , em <i>rad</i> .
$\lambda_{EVChar(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição do carregamento do parque destinado a veículos elétricos, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{MarketBuy(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de compra de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{MarketSell(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de venda de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{Sgen(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição da produção de energia, no barramento i , da iteração $it-1$;
$\lambda_{StChar(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de carga dos SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{StDsc(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de descarga do SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{u(i,j)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de radialidade da rede de distribuição, entre os barramentos i e j , da iteração anterior;

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os Sistemas Elétricos de Energia (SEE) encontram-se, atualmente, divididos em seis grandes áreas: produção, transporte, distribuição, comercialização, operação do mercado elétrico e operações facilitadoras da transferência entre comercializadores pelos consumidores. Estas áreas são, habitualmente, operadas independentemente do ponto de vista legal, organizacional ou decisório.

Desde a produção até ao consumo final de eletricidade, as atividades do setor devem ser desenvolvidas de acordo com os princípios de racionalidade e eficiência na utilização de recursos e de acordo com os princípios de concorrência e sustentabilidade ambiental, ao longo de toda a cadeia de valor [1].

O grande enfoque da presente dissertação enquadra-se na área da distribuição de energia elétrica, nomeadamente ao nível da média tensão, que tem por base a Rede Nacional de Distribuição (RND) e que comporta as redes de alta, média e baixa tensão.

A operação da RND é feita de forma a proporcionar eficiência energética e económica, através da redução de perdas no sistema, e a conceder melhorias na qualidade de serviço, minimizando as interrupções de fornecimento de energia elétrica.

Sem prejuízo da eficiência e das melhorias pretendidas, atualmente o conceito de distribuição de energia elétrica tem sofrido alguma transformação com a alteração de paradigma no que se refere à descentralização da produção. Neste sentido, um novo conceito relacionado com este setor é a Produção Distribuída (PD), que permite a produção de eletricidade apostando nas energias renováveis, de modo a reduzir a sua dependência externa e as emissões de gases com efeito de estufa decorrentes da produção de eletricidade.

Juntamente com a introdução das energias renováveis como fonte primária para a produção de eletricidade, devido ao aumento da procura de eletricidade e ao crescimento da utilização dos veículos elétricos, torna-se indispensável o controlo eficaz da rede para o desenvolvimento sustentável das redes elétricas nacionais. Assim, nasce um novo desafio, garantir a utilização racional de todos os recursos de forma eficiente e garantir a continuidade de serviço. Isso é possível através da gestão de rede em tempo real, feita com a introdução de um novo conceito, as redes inteligentes – *Smart Grids*.

Sendo as *Smart Grids* infraestruturas modernas, através do controlo automatizado e das novas tecnologias de comunicação, aumentam significativamente a eficiência, fiabilidade e segurança das redes elétricas e contribuem para a flexibilidade, interação e capacidade para o *Self-Healing* (capacidade da rede para se “auto regenerar”).

Para obter o equilíbrio entre a oferta e a procura de eletricidade, a automatização na rede de distribuição ganha grande enfoque para a resolução dos trânsitos de potência ótimos (TPO), e nesse sentido, têm de ser desenvolvidas ferramentas que permitam efetuar a operação da rede de distribuição em tempo útil, tendo em vista a minimização das perdas na rede e da energia não entregue, aquando de contingências na rede. Na presente dissertação é desenvolvida uma metodologia que permite efetuar a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*, onde são tidos em conta todos os recursos afetos a esta: produção distribuída, parques destinados a carregamento de veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia (SAE) e *demand response*, com o objetivo de dotar a rede da capacidade para o *Self-Healing*.

1.2 MOTIVAÇÃO

As redes de distribuição de energia elétrica representam um papel importante na cadeia de valor do setor elétrico. Assim, torna-se imprescindível a melhoria destas redes para a contribuição de um setor elétrico robusto e com qualidade de serviço de excelência.

Neste contexto, o tratamento de problemas como o da operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*, vem trazer mais-valias para a melhoria e eficácia dos sistemas elétricos de energia, particularmente devido à alteração de paradigma que tem vindo a ganhar destaque no que se refere à descentralização das centrais produtoras de energia elétrica.

Com o objetivo de, posteriormente, este trabalho poder integrar outras ferramentas que desempenhem funções cruciais na operação de redes de distribuição, o seu tratamento ganha relevância uma vez que poderá vir a servir de apoio à decisão na operação das redes de distribuição, trazendo, de forma automática, soluções que permitam a melhor reconfiguração de rede face a possíveis contingências.

1.3 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como principal objetivo a definição de uma metodologia para o apoio na atividade de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*. Para a sua concretização, consequentemente, são necessários outros objetivos:

- Caracterização e parametrização de uma rede elétrica de média tensão com elevado grau de penetração de produção distribuída;
- Estudo da *toolbox* MATLAB® OPTIMIZATION – TOMLAB na sua vertente TOMSYM;
- Consideração, no mesmo modelo, de todos os recursos disponíveis na rede de distribuição (produção distribuída, sistemas de armazenamento de energia, *demand response*, parques destinados ao carregamento de veículos elétricos) e perdas – na presença de contingências (falhas, aumento/redução brusca de carga, etc.);
- Minimização dos custos gerais de operação da rede de distribuição por forma a obter a reconfiguração ótima em presença de contingências.

1.4 CALENDARIZAÇÃO

A realização do estudo para o desenvolvimento da ferramenta “OP-Intel”, para a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid* no âmbito de estágio curricular numa unidade de investigação com sede no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), reconhecida pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), o GECAD - Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento, teve a duração de aproximadamente oito meses. A sua concretização conduziu à calendarização apresentada na Figura 1.

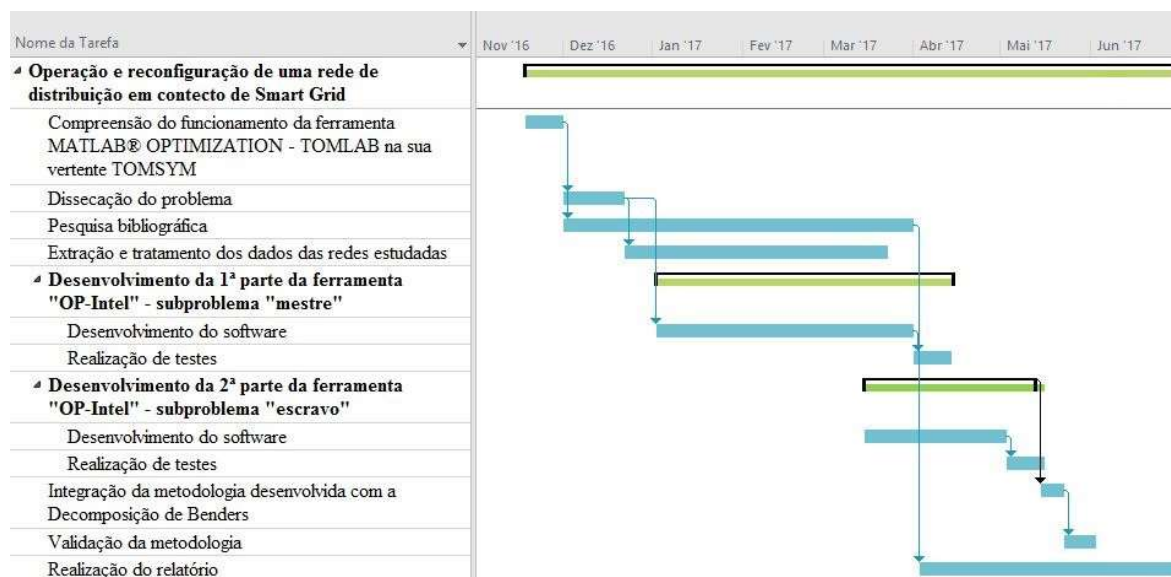


Figura 1 - Calendarização da dissertação

1.5 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. No primeiro capítulo, introdutório, é efetuado um enquadramento geral ao tema abordado, são definidas as motivações e os objetivos a atingir com o desenvolvimento da dissertação e é apresentada a organização estrutural do documento.

No capítulo 2, são apresentados os conceitos necessários à correta compreensão e interpretação do estudo desenvolvido, onde são mencionadas algumas revisões bibliográficas de trabalhos relacionados com os diversos temas estudados.

O capítulo 3 apresenta os métodos de otimização e modelização adotados que são fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, nomeadamente a formulação quadrática bem como a formulação não linear.

No capítulo 4 é apresentado o estudo dos casos analisados. O primeiro evidencia a aplicação da metodologia numa rede de testes e o segundo trata da aplicação da metodologia testada numa rede real de maior dimensão.

Por último, no capítulo 5, são retiradas as principais conclusões do estudo realizado, assim como são apresentadas propostas para trabalhos futuros nesta área.

(Página intencionalmente deixada em branco)

2. ENQUADRAMENTO

A abordagem do presente trabalho, para a resolução do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*, enquadra a envolvente no estado da arte dos estudos já realizados neste âmbito. São também apresentados os conceitos e ferramentas essenciais utilizados para o seu desenvolvimento.

Por conseguinte, neste capítulo são abordados temas como a *Smart Grid*, a produção distribuída, as redes de distribuição, o modelo para o trânsito de potências e o problema de operação e reconfiguração da rede de distribuição.

2.1 *SMART GRID*

Hoje em dia, devido ao aumento da procura de eletricidade, ao crescimento da utilização dos veículos elétricos e à introdução das energias renováveis como fonte de energia para produção de eletricidade, torna-se indispensável o controlo eficaz da rede para o desenvolvimento sustentável das cidades. Para responder a este desafio, é necessário o tratamento da informação relativa ao trânsito de energia, que, através de redes emalhadas bidirecionais, de exploração radial, permite a utilização de todos os recursos de uma forma eficiente e que garante uma superior continuidade de serviço da rede, mesmo nos eventuais

picos de procura. Através das redes inteligentes é feita toda a gestão da rede em tempo real que permite otimizar os fluxos de energia.

As infraestruturas elétricas permaneceram inalteradas por cerca de um século e, de acordo com Vehbi C. Güngör *et al.* [2], a rede elétrica existente é muito complexa e inadequada às necessidades atuais dos consumidores. Vários autores sustentam esta afirmação, nomeadamente a falta de automatização da rede e a sua análise, bem como o demorado tempo de resposta dos interruptores e seccionadores mecânicos. Concomitantemente, verifica-se a falta de consciência situacional, entre outras carências que existem nas redes de distribuição. Estas deficiências têm contribuído para que, ao longo dos anos, certos consumidores deixassem de ser alimentados em situações de contingência, verificando-se assim a redução de cargas não prioritárias e, consequentemente, a perda de continuidade de serviço. A eficácia do transporte e distribuição da energia tem sido afetada por diversos fatores. Entre outros, destacam-se: aumento de procura de energia, alavancado pelo crescimento da população; alterações climáticas cada vez mais frequentes; falhas nos equipamentos; problemas de armazenamento de energia e limitações da capacidade de produção. Por sua vez, a emissão de gases de efeito estufa, causada pela produção e transporte de energia, tem sido uma ameaça significativa para o desenvolvimento sustentável do planeta.

Consequentemente, uma constante atualização e modernização da rede de distribuição reveste-se de extrema importância para superar esses desafios. Para isso, surgiu um novo conceito de sistema de energia elétrica de próxima geração, a rede inteligente – *Smart Grid*. A *Smart Grid* é uma infraestrutura de energia elétrica moderna que permite, através do controlo automatizado e das modernas tecnologias da comunicação, melhorar a sua eficiência, fiabilidade e segurança, contribuindo decisivamente para a integração de fontes de energia renováveis (FER).

D. Baimel, S. Tapuchi e N. Baimel [3] referem a *Smart Grid* como um novo padrão das redes de distribuição, sustentado por uma nova infraestrutura de comunicação que é fundamental para o bom funcionamento da *Smart Grid*. As tecnologias da comunicação garantem o bom funcionamento da rede, desde a produção até ao consumidor final, potenciando a redução das perdas de energia, contribuindo para o funcionamento ótimo da *Smart Grid* que coordena todos os componentes da rede e, simultaneamente, previne flutuações na tensão e na frequência da rede.

Para ser efetuado todo o controlo da rede, o sistema de comunicações é a componente chave que, através da integração de tecnologias avançadas e de aplicações para alcançar uma infraestrutura de rede elétrica mais inteligente, gera uma enorme quantidade de dados de diferentes aplicações para análise e controlo. Estes dados são primordiais para atingir a redução das perdas de energia, o pico da procura e os custos da energia, onde, a *Smart Grid*, através do armazenamento da energia, da comunicação entre a rede e o consumidor e de algoritmos avançados para a previsão da produção e consumo, constitui um grande valor para o avanço tecnológico e para a sua eficiência energética.

A *Smart Grid* tem por base toda a informação relativa à energia que está a ser produzida, transportada, consumida e armazenada na rede. Em caso de contingência, a *Smart Grid*, sendo mais flexível que as redes de distribuição tradicionais puramente radiais, permite que seja feita a operação e reconfiguração de forma a manter a rede em serviço, podendo para isso, ligar unidades produtoras descentralizadas e manter todas as cargas alimentadas, evitando também, em caso contrário, a sobrecarga da rede. A adoção de parques de carregamento de veículos elétricos e a compra de energia ao mercado, também, é feita no seguimento da estratégia de resposta à procura, visando a obtenção do equilíbrio.

2.2 TECNOLOGIAS DA COMUNICAÇÃO

Diferentes tecnologias de comunicações suportadas por dois meios de comunicação principais, isto é, com fios e sem fios, podem ser utilizadas para a transmissão de dados [4] para um funcionamento eficiente da *Smart Grid*. Em alguns casos, as comunicações sem fio têm algumas vantagens sobre as tecnologias com fio, como infraestruturas de baixo custo e facilidade de conexão com áreas difíceis ou inacessíveis, tendo como principal desvantagem as interferências com outros campos eletromagnéticos e a dependência de baterias.

No contexto das *Smart Grids*, existem diferentes tipos de tecnologias de apoio, como os contadores inteligentes, que vieram substituir os contadores tradicionais, que podem ajudar a monitorizar o consumo de energia e promover uma distribuição mais eficaz facilitando a comunicação bidirecional entre consumidores e a empresa que presta os serviços. Subestações digitais e outros equipamentos passam a ser geridos através de um sistema de controlo de informação remoto e centralizado, que, de acordo com Don Gies *et al.* [5] estão

abrangidos por normas internacionais que permitem avaliar esses equipamentos da rede com circuitos de comunicação e tecnologia da informação para segurança, bem como a sua proteção necessária e a separação de outros circuitos necessários.

2.3 *SELF-HEALING*

Através das novas tecnologias inseridas nas redes de distribuição, foi criado um novo conceito associado à *Smart Grid*, o denominado *Self-Healing* [6], cuja capacidade permite, através da operação e reconfiguração da rede, restaurá-la automaticamente e de forma eficiente, aquando de uma interrupção. O *Self-Healing* tem um papel importante na redução do tempo de restauração do fornecimento de energia. Devido à complexidade da rede, com a inserção da produção distribuída (PD) e do armazenamento distribuído, quer em baterias destinadas a alimentar a rede, quer em baterias destinadas ao carregamento de veículos elétricos, os algoritmos utilizados ganham um grande enfoque, uma vez que se trata de uma das características mais importantes da *Smart Grid*. O *Self-Healing* é, na sua essência, o ato de encontrar a melhor solução, nas sequências possíveis de operação de comutação da rede, por forma atingir o restabelecimento ótimo da rede de acordo como os seus objetivos.

Contudo, de acordo com M. A. Elgenedy e S. Ahmed [7] o *Self-Healing* não se trata apenas de agir em função dos problemas da rede, mas também proteger a própria rede de distúrbios que nela possam existir, tendo como requisitos a deteção rápida e adequada dos distúrbios, a redistribuição dos recursos da rede de forma a evitar impactos adversos, a garantia da continuidade de serviço sob quaisquer condições e a diminuição do tempo de restauração do serviço. Neste contexto, como referido por D.P. Bernardon *et al.* [8], apesar das tentativas para evitar e prever as problemáticas da rede de distribuição, por vezes as interrupções são inevitáveis devido à implementação da expansão do sistema, à manutenção preventiva em componentes da rede ou mesmo devido à ação dos dispositivos de proteção em caso de defeito, sendo neste caso importante agir tão cedo quanto possível.

2.4 DEMAND RESPONSE

Uma das técnicas que têm vindo a ser estudadas é a *Demand Response*⁶ (DR) que é, na sua essência, a alteração dos consumos – cargas – por forma a atingir o equilíbrio entre a procura e a oferta de eletricidade.

Neste sentido, a DR ganha cada vez mais relevância para um controlo eficaz da *Smart Grid* e dos recursos afetos à rede de distribuição. Este controlo pode ser feito de variadas formas, desde o controlo direto à participação voluntária.

Atualmente, os fornecedores de energia, na tentativa de influenciar a carga dos consumidores, optam por uma estratégia que consiste num incentivo de preço que induz os clientes, de forma voluntária, a efetuarem os seus consumos elétricos nas horas em que o preço da energia elétrica é reduzido, isto para, sem prejuízo dos consumidores, alterar o consumo de energia para diferentes períodos do dia e assim reduzir os picos de procura. Porém, esta técnica não inviabiliza o efeito nefasto da deslocação do pico da procura para outros períodos do dia, ao invés de, como pretendido, o homogeneizar.

Por outro lado, em caso de avaria de algum componente da rede ou de alterações drásticas nas cargas, poderá ser necessário efetuar a redução de algumas cargas, por forma a evitar a que haja um “apagão”, ou desequilíbrio na rede, e as cargas tenham de ser cortadas na sua totalidade.

Assim sendo, de acordo com Siano [9] e Spees e Lave [10] existem dois tipos DR: DR de contingência e DR económica. A DR de contingência, tal como referido, é utilizada para evitar interrupções involuntárias do serviço durante períodos de escassez de produção; a DR económica utiliza-se de forma a permitir que os clientes reduzam o seu consumo de acordo com os preços praticados nesse período horário e mediante determinados incentivos.

Neste sentido, e de acordo com Han e Piette [11] e Albadi e El-Saadany [12], por forma a otimizar a *Smart Grid* ou, em caso de contingência, existem programas de incentivos para a DR.

⁶ Em português: Resposta ativa da carga.

2.4.1 CONTROLO DIRETO DA CARGA

Este tipo de programa é tipicamente implementado em clientes residenciais ou comerciais, cujos equipamentos elétricos, geralmente equipamentos de ar-condicionado e caldeiras, são desligados remotamente. O controlo direto da carga é aplicado a curto prazo para tratar de contingências na rede ou fiabilidade local, em troca de remuneração acordada, podendo limitar o número de horas que os equipamentos podem ser desligados dentro do prazo temporal estabelecido.

2.4.2 TARIFAS DE INTERRUPÇÃO/REDUÇÃO

Os clientes com este tipo de tarifa, por concordarem em reduzir a carga durante contingências da rede, recebem descontos em compensação, no entanto, se não reduzirem, não recebem qualquer tipo de penalização. Geralmente, são clientes industriais com limitação temporal de 30 a 60 minutos de redução de carga.

2.4.3 PROGRAMAS DE *DEMAND RESPONSE* DE CONTINGÊNCIA

O programa de DR de contingência é desenvolvido e desencadeado para colmatar défices de fiabilidade, consistindo em redução voluntária. Estes programas oferecem incentivos aos clientes para reduzir a carga, podendo estes, quando notificados, optar por renunciar ao incentivo não restringindo a carga, sem qualquer penalidade.

2.4.4 PROGRAMAS DE CAPACIDADE DE MERCADO

Com este tipo de programa, os clientes comprometem-se a fornecer reduções de carga pré-especificadas, mediante remuneração fixa, quando surgem contingências na rede, estando sujeitos a multas se não restringirem quando assim for solicitado.

2.4.5 PROGRAMAS DE LICITAÇÃO/RECOMPRA

Os programas de licitação/recompria incentivam os grandes clientes a reduzir a carga mediante uma retribuição previamente negociada, de acordo com a quantidade de carga que estariam dispostos a reduzir.

Estes programas são baseados em previsões de carga, por ex. dias de eventos especiais, sendo que os clientes que licitem, mas não reduzam a carga, estão sujeitos a penalidades.

Posto isto, as *Smart Grids* são atualmente consideradas como o futuro da distribuição elétrica em Portugal e no Mundo, visto que as principais características de um sistema de distribuição neste contexto são: flexibilidade; previsão; otimização; interação; segurança e ter capacidade para o *Self-Healing*.

2.5 PRODUÇÃO DISTRIBUÍDA

Portugal tem vindo a apostar nas energias renováveis para produção de eletricidade de maneira a reduzir a sua dependência externa, assim como as emissões de gases com efeito de estufa decorrentes da produção de eletricidade. Atualmente existem metas que determinam reduções das emissões de gases com efeito de estufa e o aumento da quota tanto das energias renováveis como da eficiência energética, o que promove a sensibilização para o aumento da eficiência nos sistemas elétricos de energia (SEE). A minimização das perdas e a procura por novas fontes de energia renováveis, partindo da utilização de pequenos aproveitamentos de PD, contribuem para este objetivo.

Essas metas foram declaradas pelo Conselho Europeu de 8 e 9 de março de 2007 que adotou uma Estratégia Europeia para a Energia e Alterações Climáticas com metas ambiciosas, mas credíveis, no sentido de alcançar uma redução de, pelo menos, 20 % das emissões de gases com efeito de estufa até 2020, quando comparados com os níveis de 1990. Esta estratégia compromete-se, também, com uma redução de 30 % até 2020, sob reserva da conclusão de um acordo internacional global sobre as alterações climáticas, e um objetivo obrigatório de 20 % de energias renováveis para a União Europeia (UE), que incluía 10 % de biocombustíveis.

Posteriormente, para o período de 2021-2030, as metas a nível da UE foram aprovadas no Conselho Europeu de outubro de 2014, no âmbito do pacote energia-clima para 2030. Neste Conselho foi estabelecida uma redução de emissões de pelo menos 40 % em relação a 1990, uma meta de pelo menos 27 % de fontes de energia renováveis (FER) no consumo final bruto de energia em 2030, uma meta indicativa de eficiência energética de 27 %, a ser revista em 2020 e uma meta para as interconexões energéticas de 15 % da capacidade de interligação [13].

Nesse sentido, e por forma a atingir as metas propostas pelo Conselho Europeu de Bruxelas, torna-se cada vez mais importante a inserção da PD na rede de distribuição.

A integração da PD e das FER nas redes de distribuição é atualmente um tema abrangente e complexo, uma vez que o planeamento e a exploração da rede se tornam também mais complexos, devido ao impacto que esta integração terá na rede, tanto no que se refere às condições técnicas, como também à fiabilidade do próprio sistema.

A PD, em relação aos termos tradicionais de produção de energia centralizada, refere-se aos sistemas de produção de energia em pequena escala, descentralizada, promovendo a proximidade com os centros de consumo. Esta proximidade contribui para a espectral diminuição de perdas na rede devido à redução do fluxo de energia que transita nas linhas, bem como para a redução das perdas no transporte, visto a produção ter lugar próximo do local de consumo. Não obstante, a inserção da PD altera os fluxos de energia, os perfis de tensão e as perdas associadas, pelo que é necessária, na fase de planeamento, uma análise detalhada à localização e à dispersão da PD, no que se refere aos níveis de penetração. Em função destes níveis, Yifei Guo *et al.* [14] verificaram que existe uma variação das perdas na rede, onde existe uma diminuição destas com a baixa penetração de PD. Porém, ultrapassado o valor mínimo, as perdas começam a aumentar com os níveis de penetração da PD mais elevados. Os níveis de dispersão da PD na rede também têm impacto nas perdas, isto é, com baixa penetração, quanto menos dispersas forem as PD's, maiores serão os benefícios para a redução de perdas, e com alta penetração, os altos níveis de dispersão são mais benéficos.

Por outro prisma, é de igual forma importante realçar o interesse na PD relativamente à fiabilidade do sistema, uma vez que, com metodologias para uma operação e reconfiguração do sistema ótima e a simultânea otimização da inserção da PD, existe uma contribuição significativa para a fiabilidade global da rede de distribuição [15].

Das tecnologias existentes para a PD, atualmente, destacam-se as que utilizam FER (mini-hídrica, eólica, biomassa, biogás, solar, geotérmica, ondas e marés, parte biodegradável dos resíduos agrícolas, urbanos ou industriais), as microturbinas, baterias, pilhas de combustível e motores alternativos em cogeração ou trigeração, para produção eletricidade, calor e frio – operados por produtores independentes, pelas empresas concessionárias ou pelos consumidores finais [16]. O seu custo de instalação, por unidade de potência instalada, é compensado sempre que exista energia renovável disponível e em sistemas de cogeração ou trigeração, onde é assegurado um aumento substancial do rendimento energético na conversão da energia dos combustíveis fósseis, geralmente o gás natural, em eletricidade com aproveitamento combinado de calor/frio.

É de igual forma importante realçar que a produção local de energia potencia a segurança de abastecimento e evita perdas de transporte, obedecendo a regimes jurídicos configurados na legislação, que atendem ao tipo de energia utilizada, ao processo tecnológico e à potência instalada.

Neste sentido, a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), no Decreto-Lei nº 153/2014, cria os regimes jurídicos aplicáveis à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo (UPAC) e à venda de energia à rede elétrica de serviço – Unidade de Pequena Produção (UPP).

As UPAC são instalações que, a partir de tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, são destinadas à produção de eletricidade, para autoconsumo, para satisfação de necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica do produtor, sem prejuízo do excedente de energia produzida ser injetado na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). Já as UPP são instalações que apenas utilizam FER para a produção de eletricidade, utilizando apenas uma tecnologia de produção, cuja potência de ligação à rede seja igual ou inferior a 250 kW, destinada à venda total de energia à RESP.

Deste modo, segundo Oualmakran, Melendez, e Herraiz [6], a integração das UPAC e das UPP traz benefícios à rede uma vez que a energia não flui de apenas um ponto, mas sim de vários, aumentando assim a capacidade de reserva da linha, uma vez que o fluxo de potência é menos concentrado, oferecendo uma maior flexibilidade à rede, aquando de reconfiguração, permitindo um *self-healing* mais eficiente e limitando a necessidade de construção de novas linhas de transporte e distribuição. A sua inclusão na rede, desde que

com o devido controlo e regulação, permite melhorar os perfis de tensão e reduzir as perdas de potência e o pico de produção centralizada. É também importante na mitigação dos impactos ambientais, devido à utilização de FER, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeitos de estufa. Relativamente à fiabilidade da rede, esta integração tem um impacto positivo uma vez que, sendo a produção descentralizada, as falhas podem ter um menor impacto na disponibilidade de energia, permitindo assim um melhor controlo, observabilidade e previsibilidade.

2.6 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

As redes de distribuição desempenham um papel fundamental nos SEE, visto que a distribuição de eletricidade se processa através desta. A rede é constituída por infraestruturas de alta tensão (AT) que fornecem energia às subestações, média tensão (MT) que alimentam os postos de transformação e baixa tensão (BT), à qual estão diretamente ligados os equipamentos com alimentação elétrica.

Através da Rede Nacional de Transporte (RNT), é alimentada a Rede Nacional de Distribuição (RND), permitindo abastecer os consumos da maioria dos clientes finais. A Figura 2 apresenta um exemplo de um esquema unifilar de um SEE, onde estão compreendidos geradores, transformadores, redes de transporte e distribuição e cargas.

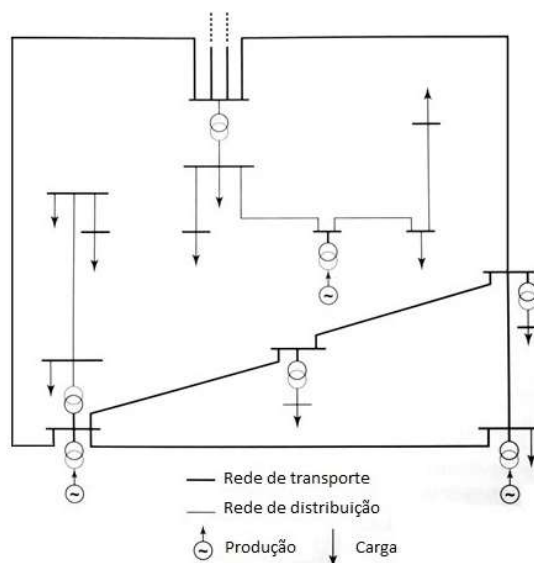


Figura 2 - Esquema unifilar de um SEE [16]

Desta forma, a energia elétrica, veicula da RNT para a RND sendo reduzida através de subestações, permitindo que esta seja conduzida até à Rede de Distribuição em Baixa Tensão (RDBT) e às instalações consumidoras – clientes em MT.

No Regulamento da Rede de Distribuição [17], é feita a distinção entre a RND e a RDBT, onde a primeira compreende as linhas de AT e de MT, os postos de seccionamento e corte, as subestações e os aparelhos e acessórios ligados à sua exploração. As instalações adstritas ao despacho e à condução da rede de distribuição, bem como as instalações de telecomunicação, telemedida e telecomando e os equipamentos de controlo, automação e medição relativos às instalações da RND fazem também parte integrante desta. Relativamente à RDBT, esta compreende as linhas, cabos e ramais de BT, os aparelhos e acessórios ligados à exploração da rede, os postos de transformação e instalações anexas, bem como as redes e instalações de iluminação pública, as instalações de telecomunicações, telemedida e telecomando e os equipamentos de controlo e medição das instalações fisicamente ligadas à rede.

O desenvolvimento das redes de distribuição tem em vista assegurar a plena satisfação do aumento dos consumos nas condições regulamentares de segurança de pessoas e bens, baseando-se, para isso, em soluções que proporcionam quer uma melhoria de eficiência energética e económica, expressas pela redução da energia de perdas, quer uma melhoria da qualidade técnica do serviço prestado aos clientes, expressas pela minimização de interrupções de fornecimento. Neste sentido, e por forma a facilitar o desenvolvimento de medidas de gestão da procura e de produção distribuída de eletricidade, o planeamento da rede de distribuição leva em consideração estes fatores, bem como articula todos os desenvolvimentos necessários com os intervenientes neste processo [18].

Por conseguinte, as redes de distribuição têm sido reforçadas e modernizadas por forma a acompanhar todo o crescimento demográfico e a consequente evolução dos consumos.

2.6.1 ELEMENTOS CONSTITUINTES DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Tal como referido no ponto anterior, e de acordo com a EDP Distribuição [19], a rede de distribuição é constituída pela RND e pela RDBT, cuja infraestrutura é composta por:

→ Linhas de AT – São aquelas cuja tensão nominal é igual ou superior a 60 kV. Estas linhas são geralmente aéreas, podendo ainda assim, ser subterrâneas. As linhas aéreas são constituídas por apoios, normalmente metálicos, sendo os condutores suspensos ou apoiados por isoladores.

Estas linhas unem os centros produtores (centrais térmicas, hídricas, eólicas) às subestações ou várias subestações.

→ Linhas de MT – São aquelas cuja tensão nominal é inferior a 60 kV (por definição: entre 1 kV e 45 kV). As tensões mais comuns são 10, 15 e 30 kV. Podem ser aéreas ou subterrâneas. As aéreas são habitualmente em cabo nu, apoiadas em postes de betão (mais comum) ou metálicos, sendo os condutores suspensos ou apoiados por isoladores.

Estas linhas ligam as subestações aos postos de transformação ou ligam diferentes Postos de Seccionamento/Transformação entre si.

→ Linhas de BT – Levam a energia elétrica desde os postos de transformação, ao longo das ruas e caminhos até aos locais onde é consumida em BT (230 V entre fase e neutro e 400 V entre fases). Podem ser de 2 tipos: aéreas ou subterrâneas.

As linhas aéreas podem ser em condutores nus ou isolados em feixe (cabo torçada). As linhas em condutor nu estão fixas sobre isoladores e apoiados em postes de betão, ou sobre postes metálicos fixos na fachada. Geralmente, os cabos de distribuição de BT são constituídos por cinco condutores, um dos quais se destina à iluminação pública.

→ Subestações – Destinam-se a elevar a tensão da eletricidade produzida nas centrais para ser transportada em AT para as zonas de consumo, ou, uma vez perto das zonas de consumo, baixar o nível de tensão para poder ser distribuída em MT.

De modo geral, estas instalações contêm os pórticos onde chegam e de onde partem as linhas, os transformadores de potência e acessórios de proteção. Estas instalações estão protegidas por uma vedação, com sinais que advertem para o perigo elétrico no interior e interditam o acesso a pessoas não autorizadas.

→ Postos de transformação – Têm a função de reduzir a MT para a BT utilizável pelo consumidor final doméstico, comercial ou pequeno industrial. Existem 2 tipos: encerrado numa construção de alvenaria, eventualmente numa caixa metálica, ou aéreo suspenso em poste.

No que se refere à exploração das redes de distribuição, existem princípios gerais estabelecidos em normativas europeias que deverão ser implantados, tal como a Norma Europeia EN 50110-1, de dezembro de 1996, que é de cariz obrigatório.

2.6.2 ESTRUTURA TOPOLÓGICA E EXPLORAÇÃO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A topologia das redes de distribuição tem um papel vital, diretamente relacionado com a qualidade de serviço associada à rede, pelo que a seleção do seu esquema topológico deverá ser tratada de acordo com a sua real importância. Assim sendo, tal como referido por Sucena Paiva [16], a estrutura topológica é fundamental para a fiabilidade dos SEE, uma vez que todos os elementos da rede estão sujeitos a avarias podendo originar interrupções no fornecimento de energia, no caso de não existir redundância da rede. Por conseguinte, a redundância implica um aumento dos custos de investimento, sendo necessário estabelecer um equilíbrio entre os custos e os benefícios a eles inerentes, que se refletem na estrutura topológica da rede.

Existem diversas topologias que podem ser aplicadas às redes de distribuição, sendo importante destacar as que se encontram apresentadas na Figura 3 [16]: as redes radiais a), as redes emalhadas b) e as redes emalhadas com exploração radial c).

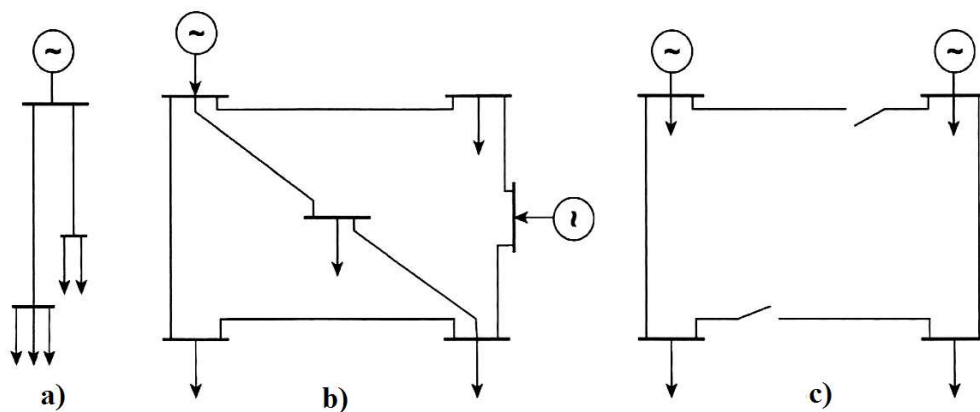


Figura 3 - Estrutura topológica das redes de distribuição

→ Redes radiais

As redes radiais são constituídas por linhas que partem de um ponto inicial e que se vão ramificando, sem nunca se encontrarem num ponto comum, Figura 3 a), apresentando uma disposição arborescente. Esta topologia apresenta baixo custo de instalação, mas corresponde a uma rede com menor fiabilidade. São particularmente usadas na distribuição aérea e em zonas rurais, com baixa densidade de clientes/consumo. No caso de não existir produção distribuída ligada à rede, o sentido do trânsito de energia é feito desde o ponto de alimentação até à carga.

→ Redes emalhadas

No caso das redes emalhadas, estas são caracterizadas pela alimentação dos clientes através de várias linhas que são ligadas de modo a constituírem malhas fechadas, Figura 3 b). Os consumidores podem ser alimentados por meio de vários percursos, uma vez que os geradores estão ligados por forma a permitir que exista redundância na rede (todos os troços da rede fazem parte de um anel). Para isso, todas as linhas deverão ser dimensionadas para que, em caso de avaria de uma outra linha, haja a possibilidade de transmitirem a potência necessária. São redes que correspondem a uma maior fiabilidade, contudo acarretam um custo superior.

→ Redes emalhadas com exploração radial

Em áreas urbanas com elevada densidade, poderá usar-se uma estrutura emalhada com exploração radial, Figura 3 c), onde estão colocados interruptores normalmente abertos para que possam ser fechados em caso de indisponibilidade de um troço de linha, isolando o mesmo e assegurando a continuidade de serviço.

2.6.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO EM PORTUGAL

A cada quadriénio, a rede de distribuição portuguesa, é alvo de planos de desenvolvimento e investimento, estando o atual em vigor até ao ano de 2019 [18], o que reflete a melhoria

contínua aplicada à infraestrutura que é fundamental para o funcionamento da rede elétrica portuguesa.

A rede de distribuição, que é detida e operada maioritariamente pela EDP Distribuição – Energia, S.A., conta com 434 subestações, 766 transformadores com uma potência instalada total de 17 671 MVA e 68 255 postos de transformação de distribuição com uma potência instalada de 20 370 MVA⁷. Conta também com 225 392 km de linhas, incluindo ramais, dos quais 176 887 km em linhas aéreas e 48 505 km em subterrâneas (Tabela 1), a qual em 2015 entregou cerca de 45 000 GWh a aproximadamente 6,1 milhões de clientes [20].

Tabela 1 - A RD em Portugal – Instalações e equipamentos em serviço

	2015	2016
Subestações		
Nº de subestações	419	434
Nº de transformadores	731	766
Potência instalada (MVA)	17 608	17 671
Linhas (incluindo ramais, em km)	82 175	82 558
Aéreas	67 337	67 596
AT (60/130 kV)	8 904	8 990
MT (6/10/15/30 kV)	58 433	58 606
Cabos subterrâneos	14 839	14 962
AT (60/130 kV)	523	526
MT (6/10/15/30 kV)	14 316	14 436
Postos de transformação de Distribuição		
Unidades	67 063	68 255
Potência instalada (MVA)	19 993	20 370
Redes BT (km)	142 325	142 834
Aéreas	108 936	109 291
Subterrâneas	33 389	33 543

⁷ Valores de dezembro de 2016

2.7 TRÂNSITO DE POTÊNCIAS ÓTIMO

O trânsito de potências ótimo⁸ (TPO) é a solução de um SEE em regime permanente, que compreende os geradores, as cargas e a rede, onde são obtidas todas as condições de operação, nomeadamente os consumos, a produção, as respetivas tensões em cada barramento, bem como os fluxos de potência nas linhas [16].

De acordo com A. G. Expósito [21], a operação diária constitui a base para a devida análise da segurança do sistema. Esta é uma ferramenta que permite conhecer o estado da rede e que se executa periodicamente, para identificar possíveis problemas de sobrecargas ou tensões que não se encontram dentro dos devidos parâmetros, sendo estes consequentes da evolução da carga ou da ocorrência de alguma alteração da topologia da rede, inesperada ou programada.

Para obtenção dos fluxos de cargas, são necessárias duas etapas, a primeira onde são obtidas as tensões de todos os barramentos da rede e a segunda consiste no cálculo dos valores necessários para a análise da rede, tal como os fluxos de potência ativos e reativos, as perdas, entre outros.

O problema de otimização tratado nesta dissertação é mono-objetivo com programação não linear, pois, para além de termos uma função objetivo não linear e variáveis contínuas associadas ao processo de operação, existem equações de restrição do TPO em corrente alternada (TPO-CA) que são não lineares, temos também variáveis binárias, limites técnicos da rede, e outros.

Sendo este um problema bastante complexo e de difícil resolução devido às variáveis de decisão – variáveis binárias, pode-se recorrer a técnicas que permitam simplificar o problema.

Técnicas de decomposição podem ser utilizadas para resolução deste tipo de problemas, e, neste trabalho, será abordada a Decomposição de Benders (ver subcapítulo 3.6), combinada com um algoritmo que permite obter a configuração e topologia ótima da rede, com vista à

⁸ Também designado por Trânsito de Energia Ótimo ou Fluxo de Potência Ótimo (Em inglês: *Optimal Power Flow* ou *Optimal Load Flow*)

minimização das perdas de energia e da potência não entregue. Neste caso são considerados dois tipos de trânsito de potência – TPO-CA e TPO linear.

De forma geral, o problema do TPO é modelizado de acordo com (2.1) - (2.5).

$$\text{Minimizar } f(x, y) \quad (2.1)$$

$$\text{s.a. } h(x, y) = 0 \quad (2.2)$$

$$g(x, y) \geq 0 \quad (2.3)$$

$$\underline{x} \leq x \leq \bar{x} \quad (2.4)$$

$$y_i \in D_{y_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n_y \quad (2.5)$$

A equação $f(x, y)$ representa a função objetivo, onde $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ e $y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ são variáveis de decisão, D_{y_i} é o conjunto de valores discretos para a variável y_i , para $i = 1, 2, 3, \dots, n_y$. As funções $f(x, y)$, $h(x, y) = (h_1(x, y), h_2(x, y), \dots, h_m(x, y))$ e $g(x, y) = (g_1(x, y), g_2(x, y), \dots, g_p(x, y))$ são funções não lineares. Os vetores $\underline{x} \in \mathbb{R}^{n_x}$ e $\bar{x} \in \mathbb{R}^{n_x}$ indicam os limites inferiores e superiores da variável x , respetivamente.

Independentemente do TPO em questão, a função objetivo em causa visa não só efetuar a minimização dos custos de produção, das perdas do sistema, da energia não fornecida, mas também maximizar a qualidade de serviço da rede.

As restrições de igualdade são representadas pelas equações não lineares dos trânsitos de potência correspondentes ao balanço de potência em cada barramento da rede. As restrições de desigualdade podem ser físicas (limites de produção de potência ativa e reativa, limites de transmissão de potência ativa e reativa nas linhas, entre outros), operacionais (limites das magnitudes de tensões nos barramentos, desfasamento angular, entre outros) e de segurança (relacionadas com possíveis contingências). No subcapítulo 3.7 e 3.8 este tema encontra-se mais pormenorizado.

2.8 OPERAÇÃO E RECONFIGURAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Nos SEE a operação e a reconfiguração da rede de distribuição desempenham um papel fundamental pois a alteração da topologia da rede, a partir da abertura ou fecho de aparelhos de seccionamento, permite efetuar o isolamento de possíveis falhas e restaurar o fornecimento de energia em situações de contingência. Além disso, aquando do funcionamento normal, a reconfiguração permite adequar e melhorar o equilíbrio da carga entre alimentadores, favorecendo melhores níveis de tensão e de outros indicadores.

Assim sendo, em funcionamento normal, a reconfiguração da rede tem como objetivo a melhoria dos indicadores da rede de distribuição, tal como perdas de energia, níveis de tensão, sobrecarga nas linhas, frequência e duração das interrupções, energia não entregue, entre outros. Quando se trata de uma eventual avaria na rede, é importante proceder à operação da rede por forma a encontrar a melhor reconfiguração a aplicar à topologia da rede, sempre tendo em conta os indicadores referidos e mantendo o equilíbrio técnico-económico.

Atualmente, e devido à inserção da PD, dos sistemas de armazenamento de energia e da massificação dos veículos elétricos, torna-se imprescindível a análise da reconfiguração combinada com a PD, uma vez que esta é importante na medida em que a injeção de energia em diferentes pontos estratégicos afeta a distribuição do fluxo e, conseqüentemente, as perdas associadas.

As redes de distribuição são normalmente projetadas de forma emalhada, mas com exploração feita de acordo com a topologia radial. A reconfiguração da rede é realizada através da comutação, manual ou automática, dos seccionadores de forma a manter a continuidade de serviço, assim como a sua qualidade.

Neste sentido, de acordo com F. Ferreira [22], considerando a topologia da rede, podem ser considerados três estados operativos:

Estado normal: Aquando do estado normal, a configuração da rede e a sua topologia estão de acordo com a situação regular de utilização e todos os consumidores estão a ser devidamente alimentados. A rede pode ser ajustada e operada ao longo do tempo, mantendo-a no estado topológico normal, através do carregamento de dados sistema e por procedimentos de controlo de tensão, frequência e fluxos transitados;

Estado de contingência: Este estado ocorre quando algum tipo de evento do tipo falha ou curto-circuito ocorre em algum alimentador. Neste caso são violados os limites operativos da rede pelo que os procedimentos de proteção são iniciados;

Estado de reconfiguração: A rede encontra-se em estado de reconfiguração quando a topologia da rede necessita de alterações, podendo esta necessidade de alteração ser provocada pela atuação de dispositivos de proteção ou por manobras, estando sempre assegurada a radialidade da rede.

Neste sentido, a transição entre os diferentes estados pode ser exemplificada na Figura 4.

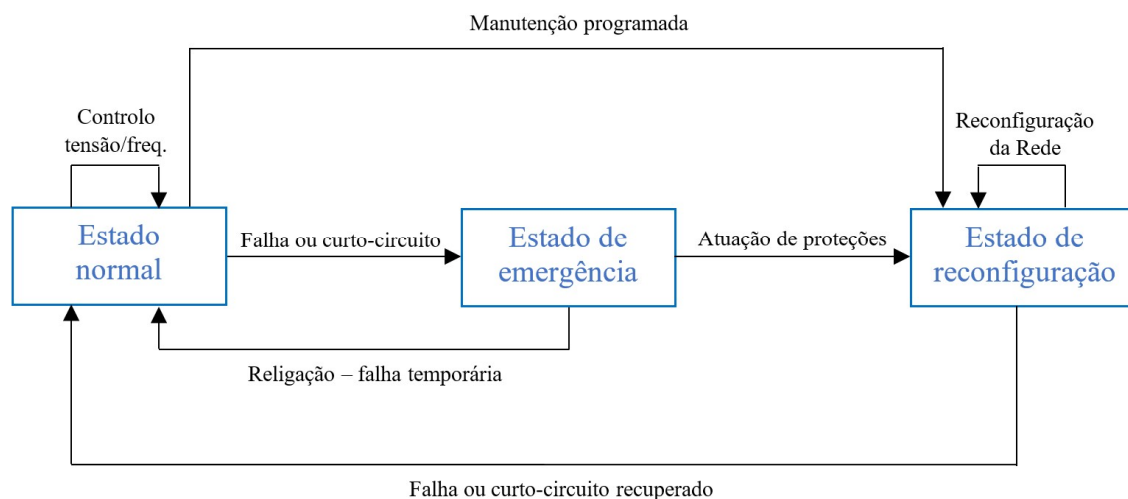


Figura 4 - Diagrama de estados de funcionamento da rede de distribuição

Quando se trata de um evento de contingência na rede de distribuição, o procedimento de reconfiguração é, geralmente, caracterizado pela seguinte execução:

1. Identificação do local do evento de contingência;
2. Execução do isolamento, a montante e a jusante, do menor trecho do alimentador que contenha o local identificado no ponto 1;
3. Identificação de possibilidades de mudança na topologia da rede, por forma a melhorar os indicadores de qualidade da rede em comparação com a situação atual, posterior ao isolamento realizado no ponto 2;

4. Realização da manutenção ou operação;
5. Retorno à topologia normal de exploração da rede.

A operação e reconfiguração da rede é sempre necessária quando existem quebras de fornecimento de energia, sejam estas devido à atuação de dispositivos de proteção em caso de defeito, ou em caso de intervenções programadas, tanto para manutenção preventiva em componentes da rede como para execução de obras de expansão do sistema, e tem por objetivo restabelecer, o mais rapidamente possível, o fornecimento de energia a todos os consumidores que se encontram situados a jusante da área que se encontra isolada. Esta reconfiguração é assegurada, através da manobra dos seccionadores existentes na rede, garantindo a condição de radialidade do sistema. No que se refere às restantes cargas, ou seja, a montante, estas presumivelmente não necessitam que seja feita a reconfiguração nessa área uma vez que as cargas estão todas ligadas fisicamente a uma subestação e o restabelecimento do fornecimento de energia é feito através da atuação das proteções.

A estratégia aplicada à reconfiguração das redes de distribuição é feita no âmbito da operação em regime de perdas mínimas, de forma a assegurar os melhores perfis de tensão ao longo dos ramais, a controlar os níveis de carga nos ramais envolvidos na operação, reduzir as perdas ativas totais e melhorar a qualidade de serviço, provendo do mesmo modo o prolongamento da vida útil dos componentes da rede.

Dado à relevância do problema de operação e reconfiguração das redes de distribuição, é de igual forma importante referir que as tecnologias de comunicação têm um papel fundamental, sendo, através destas, feita toda a comunicação relativa ao estado da rede. Tal como mencionado no subcapítulo 2.2, estas podem ser feitas por várias vias, mas é essencial referir que qualquer componente que seja operado e controlado remotamente pode ser afetado por imperfeições ou mau funcionamento do canal de comunicação utilizado. De acordo com R.S. Carvalho [23] o impacto da comunicação imperfeita na operação da rede de distribuição pode ser caracterizador por:

- Falha no envio do sinal correto de controlo para as subestações, como por exemplo, PD ou equipamentos de armazenamento de energia;
- Falha no envio do sinal de *demand response* correto para uma carga controlável;
- Falha ao enviar o comando correto de abertura/fecho para disjuntores e/ou seccionadores;

- Falha ao enviar os valores de medição corretos (tensão, corrente, potência, fator de potência, etc.) para o centro de controlo;
- Falha ao enviar os dados do estado dos componentes da rede corretos (estado dos disjuntores, estado dos bancos de condensadores, etc.) para o centro de controlo.

Falahati, Kargarian e Yong Fu [24], consideram que as tecnologias de comunicação afetam a ocorrência de falhas na rede e influenciam o TPO, e que os principais problemas que, geralmente, se encontram na operação e na reconfiguração da rede de distribuição devido à falha de comunicação são: falha na distribuição de uma unidade, onde uma ou mais unidades de produção não podem ser despachadas, portanto devem ser desligadas; o corte de cargas reguláveis, onde o deslocamento de carga não é capaz de receber os comandos de "*turn-off*"; e as falhas nas cargas em *demand response* que não são capazes de reduzir os seus níveis de consumo. Todos estes fatores podem levar à perda total do controlo da rede.

Para tratamento deste problema de operação e reconfiguração, é importante referir que, neste trabalho, trata-se um problema determinístico combinatório, não linear, mono-objetivo, que está sujeito a restrições técnicas e de carga, sendo que a sua dimensão está associada ao número de seccionadores que podem entrar na operação.

Alguns autores, como Avani e Chintan Patel [25], encaram este problema recorrendo à utilização de algoritmos genéticos, um método não determinístico, onde pretendem reduzir as perdas ativas da rede. Outros métodos não determinísticos existentes que podem ser utilizados para a operação e reconfiguração da rede de distribuição são: técnicas heurísticas e lógica *fuzzy* [26], *simulated annealing* e pesquisa tabu [27], otimização de enxame de partículas (PSO⁹) [28], colónia de formigas¹⁰ [29], podendo estes ser baseados em técnicas de otimização combinatória.

⁹ Em inglês: *Particle Swarm Optimization*

¹⁰ Em inglês: *Ant Colony*

2.9 SUMÁRIO

Neste capítulo, foi apresentado o enquadramento à envolvente da operação de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*, pelo que foram abordados temas como o âmbito da produção distribuída, as redes de distribuição e a sua caracterização. Foi também apresentado o modelo genérico para determinação do trânsito de potências utilizado, assim como, foi dado um grande enfoque à operação e reconfiguração da rede de distribuição, com vista a atingir os objetivos propostos no desenvolvimento das *Smart Grids*.

3. MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO E MODELIZAÇÃO

Os métodos aplicados para a resolução do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*, são apresentados neste capítulo. Neste sentido, são apresentadas as técnicas de otimização empregues e são referidas todas as modelizações necessárias para a resolução do problema, dando grande enfoque à formulação quadrática e à formulação não linear do problema.

3.1 TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO

Nos sistemas elétricos de energia (SEE), devido à complexidade da rede e dos diversos componentes que nela se inserem, o tratamento de problemas como o da operação e reconfiguração da rede de distribuição torna-se demasiado complexo. Esta complexidade deve-se ao facto de a função objetivo ser não linear e existirem diversas variáveis contínuas, variáveis binárias e algumas das restrições serem não lineares. Neste sentido, este problema

é apresentado como – Programação Não Linear Inteira Mista (MINLP¹¹). A resolução deste tipo de problemas pode ser considerada difícil devido à presença de variáveis de decisão que, neste caso, são variáveis binárias.

Como forma de resolução e de simplificação do problema, recorreu-se a técnicas de decomposição, nomeadamente à Decomposição de Benders [30], e a algoritmos que permitem obter a topologia ótima da rede e o trânsito de potências ótimo, tendo em consideração a minimização das perdas e da potência não entregue, entre outros.

Esta técnica permite que o problema de otimização seja subdividido em dois subproblemas, isto é, em dois níveis, onde temos o subproblema “mestre” e o subproblema “escravo”. Posto isto, através do subproblema “mestre”, é determinada a topologia radial da rede e todas as binárias associadas às variáveis de decisão, sendo este um problema apresentado como Programação Quadrática Inteira Mista (MIQP)¹² que é solucionado através da resolução de um TPO linear; o subproblema “escravo” é utilizado para verificar a viabilidade da solução do subproblema “mestre” e é realizado pela aplicação de um trânsito de potências ótimo em corrente alternada (TPO-CA). O subproblema “escravo” é apresentado como Programação Não Linear (NLP)¹³ e permite que sejam fornecidas todas as informações necessárias para formular os cortes lineares, neste caso os cortes de Benders. Estes cortes fazem a ligação entre os dois subproblemas – “mestre” e “escravo”.

Esta técnica faz utilização de um processo iterativo, onde a solução obtida no subproblema “mestre” é introduzida no subproblema “escravo” que verifica a viabilidade da solução proposta e, caso necessário, são feitos os denominados cortes de Benders que são introduzidos no subproblema “mestre” para melhorar a decisão deste na iteração seguinte. O processo iterativo continua até ser encontrada a melhor solução convergente, ou por critério de paragem.

O processo da decomposição de Benders será mais detalhado no subcapítulo 3.6.

¹¹ Em Inglês: *Mixed Integer Nonlinear Programming*

¹² Em inglês: *Mixed Integer Quadratic Programming*

¹³ Em inglês: *Nonlinear Programming*

3.2 OTIMIZAÇÃO MONO-OBJETIVO

No caso da operação e reconfiguração da rede de distribuição, onde a otimização só visa uma função objetivo (FO), trata-se de uma otimização mono-objetivo, a partir da qual se pretende determinar a solução admissível que a FO otimiza sendo esta uma única solução ótima global. Esta função poderá ser maximizada ou minimizada mediante o contexto do problema [31], [32].

Este tipo de problemas pode ser expresso matematicamente por (3.1) - (3.4):

$$\text{minimizar / maximizar } f(x) \quad (3.1)$$

sujeito a:

$$i_a(x) = \{i_1(x), i_2(x), \dots, i_A(x)\} \geq 0 \quad (3.2)$$

$$e_b(x) = \{e_1(x), e_2(x), \dots, e_B(x)\} = 0 \quad (3.3)$$

$$x_c^i \leq x_c \leq x_c^s, \quad c = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.4)$$

A FO está representada na expressão (3.1) e nas expressões (3.2) e (3.3) estão representadas as restrições de desigualdade e de igualdade, respetivamente. As variáveis de decisão e os seus respetivos limites estão identificados na expressão (3.4).

Sendo o vetor x a solução do problema, este tem de satisfazer todas as restrições, (3.2) - (3.4), para qualquer que seja a solução x , de forma a obter o conjunto de todas as soluções admissíveis do problema – região admissível X .

3.3 SISTEMA “POR UNIDADE” (P.U.)

Nos SEE, de modo a serem permitidos os cálculos com diferentes unidades, isto é, diferentes grandezas elétricas, como potência, tensão, corrente, impedância, entre outros, é utilizado o sistema “por unidade”.

O sistema “por unidade”, ou, de forma abreviada, sistema p.u., permite quantificar essas mesmas grandezas através dos seus valores de base, designadamente, valores nominais ou

de plena carga. Assim sendo, consiste na definição dos valores de base para as grandezas, seguida da substituição dos valores variáveis e constantes, expressas no Sistema Internacional de unidades, conhecido por sistema S.I., pelas suas relações com os valores de base pré-definidos.

Para exemplificar, para uma grandeza G , o valor em p.u. numa base G_b , obtém-se através da expressão (3.5), [21] e [33].

$$G_{p.u.} = \frac{G}{G_b} \quad (3.5)$$

Para resolução do problema é necessário converter todas as grandezas no sistema p.u., como por exemplo grandezas como a resistência, a reatância, o limite térmico dos condutores ou a potência aparente, poderão ser obtidas através das expressões (3.6), (3.7) e (3.8), respetivamente.

$$R_{i,j}(p.u.) = \frac{R_{i,j}(\Omega)}{Z_b} \quad (3.6)$$

$$X_{i,j}(p.u.) = \frac{X_{i,j}(\Omega)}{Z_b} \quad (3.7)$$

$$S_{i,j}(p.u.) = \frac{S_{i,j}(VA)}{S_b} \quad (3.8)$$

Todos os cálculos são realizados em sistema p.u., porém os resultados finais terão de ser novamente convertidos para sistema S.I., ou seja, é feita a multiplicação do valor em p.u. pelo respetivo valor de base, como demonstrado na expressão (3.9).

$$G = G_{pu} \cdot G_b \quad (3.9)$$

3.3.1 BASES

Num sistema de energia, dadas as relações existentes entre as unidades, só poderão definir-se duas bases independentes através das quais se calculam todas as outras. Normalmente definem-se como bases independentes a potência aparente total S_b para o sistema e a tensão

composta V_b num determinado barramento. A partir desses valores, definem-se as bases de potência por fase ($S_b / 3$) e de tensão simples ($V_b / \sqrt{3}$), e também as bases para a potência ativa e reativa, numericamente iguais à base de potência aparente. Por sua vez, as bases de impedância e corrente calculam-se através das expressões (3.10) e (3.11).

$$Z_b = \frac{(V_b)^2}{S_b} \quad (3.10)$$

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot V_b} \quad (3.11)$$

3.4 PERDAS DO SISTEMA

As perdas ativas e reativas da rede de distribuição, segundo D. Das [34], podem ser calculadas tendo em conta as cargas ativas e reativas dos barramentos e o módulos das suas tensões. Em cada linha, as perdas ativas são dadas por (3.12) e as reativas por (3.13).

$$P.Ativas_{i,j} = \frac{R_{i,j} * (P_j^2 + Q_j^2)}{|V_j|^2} \quad (3.12)$$

$$P.Reativas_{i,j} = \frac{X_{i,j} * (P_j^2 + Q_j^2)}{|V_j|^2} \quad (3.13)$$

As perdas totais da rede podem ser obtidas através do somatório das perdas de cada uma das linhas pertencentes à rede que se pretende analisar.

Uma outra forma de efetuar o cálculo de perdas, de acordo com a *Schneider Electric* [35], poderá ser feita através dos fluxos de potência que transitam nas linhas da rede de distribuição. As perdas nas linhas são o resultado da passagem da corrente através de condutores imperfeitos, logo o material condutor possui impedância que irá produzir uma queda de tensão ao longo das linhas e que esta é proporcional ao fluxo de corrente.

A componente resistiva da linha contribui para as perdas de potência ativa e a componente reativa para as perdas de potência reativa. Assim, as perdas nas linhas podem ser calculadas com base no fluxo de corrente que as percorre, de acordo com (3.14) e (3.15).

$$P.Ativas_{i,j} = I_{i,j}^2 \cdot R_{i,j} \quad (3.14)$$

$$P.Reativas_{i,j} = I_{i,j}^2 \cdot X_{i,j} \quad (3.15)$$

Para as duas situações, o cálculo das perdas aparentes pode ser obtido pelo conhecido método do quadrado dos quadrados, demonstrado em (3.16).

$$P.Aparesntes_{i,j} = \sqrt{P.Ativas_{i,j}^2 + P.Reativas_{i,j}^2} \quad (3.16)$$

onde:

- $P.Ativas_{i,j}$ → Perdas ativas na linha entre os barramentos i e j ;
- $P.Reativas_{i,j}$ → Perdas reativas na linha entre os barramentos i e j ;
- $P.Aparesntes_{i,j}$ → Perdas aparentes na linha entre os barramentos i e j ;
- $I_{i,j}$ → Corrente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
- $R_{i,j}$ e $X_{i,j}$ → Resistência e reatância da linha entre os barramentos i e j , respectivamente;
- P_j e Q_j → Cargas ativa e reativa no barramento j , respectivamente;

Na resolução do subproblema “mestre”, sendo este MIQP, e onde são efetuadas diversas aproximações, a metodologia aplicada será a segunda citada, apresentada pela *Schneider Electric*, demonstrada em (3.14) e (3.15), uma vez que não constam no modelo as tensões nos barramentos. No caso do subproblema “escravo”, sendo este NLP, é mais exato e as aproximações feitas para o subproblema “mestre” deixam de ser consideradas, logo as perdas são calculadas pelo TPO-CA. Assim, a sua determinação é feita mediante a primeira metodologia, apresentada por D. Das, demonstrada em (3.12) e (3.13). A obtenção das perdas de potência aparente, podem ser obtidas através dos diferentes tipos de perdas, ativas e reativas, isto é, pela expressão (3.16).

3.5 MATRIZ DAS ADMITÂNCIAS

A matriz das admitâncias, uma ferramenta fundamental para a análise de redes, relaciona as injeções de corrente nos barramentos com as suas tensões. Segundo Monticelli [36], a injeção de potência pode ser considerada análoga à injeção de corrente e o circuito pode ser simulado por fontes de corrente num barramento. A injeção de corrente num barramento pode ser tanto positiva como negativa.

Assim, a matriz das admitâncias relaciona quantidades nodais e todas as variáveis elétricas têm de estar no sistema p.u..

Para melhor representação, a Figura 5 retrata uma rede de quatro barramentos, onde se podem verificar todas as ligações entre os barramentos e a terra.

- Os ramos que interligam os barramentos representam linhas;
- Os ramos de interligação à terra representam qualquer ligação *shunt* ao barramento;
- Todas as ramificações que são indicadas com valores de admitância $y_{i,j}$ representam os valores de admitância entre o barramento i e o barramento j e as ramificações com valores de admitância y_i representam o valor de admitância *shunt*;
- A injeção de corrente em cada barramento i é denotada por I_i .

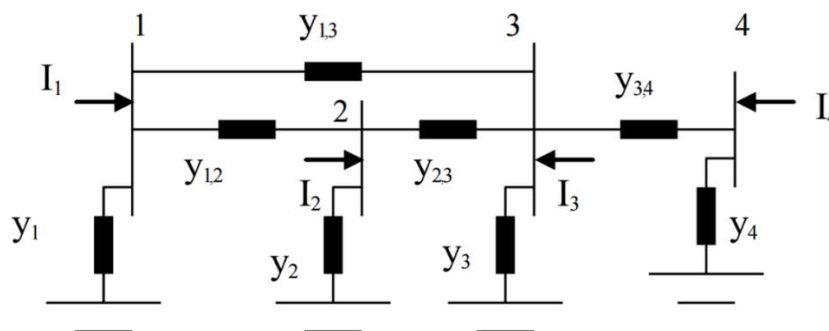


Figura 5 - Rede exemplo para criação de matriz das admitâncias [36]

Pela 1ª lei de Kirchhoff, sabe-se que cada uma das injeções num barramento é igual ao somatório das correntes que fluem para o barramento e nas linhas que interligam esse mesmo

barramento a um outro ou ao *shunt*. Assim sendo, e de acordo com a Lei de Ohm, $I = \frac{V}{z} = V \cdot y$, a corrente injetada no barramento 1 pode ser obtida pela expressão (3.17).

$$I_1 = (V_1 - V_2) \cdot y_{1,2} + (V_1 - V_3) \cdot y_{1,3} + V_1 \cdot y_1 \quad (3.17)$$

Para a rede ficar mais completa, poderemos também considerar que o barramento 1 está ligado ao barramento 4 através de uma impedância infinita, o que implica que a admitância correspondente, $y_{1,4}$, é zero. A vantagem deste acréscimo é que poderemos considerar que o barramento 1 pode ser interligado a qualquer barramento da rede. Assim sendo, obtém-se a expressão (3.18).

$$I_1 = (V_1 - V_2) \cdot y_{1,2} + (V_1 - V_3) \cdot y_{1,3} + (V_1 - V_4) \cdot y_{1,4} + V_1 \cdot y_1 \quad (3.18)$$

De notar que a contribuição de $y_{1,4}$ é zero. Organizando a expressão (3.18) temos:

$$I_1 = V_1 \cdot (y_1 + y_{1,2} + y_{1,3} + y_{1,4}) + V_2(-y_{1,2}) + V_3(-y_{1,3}) + V_4(-y_{1,4}) \quad (3.19)$$

Do mesmo modo, é possível obter o valor da injeção no barramento 2, 3 e 4, pelas expressões (3.20), (3.21) e (3.22) respetivamente.

$$I_2 = V_1(-y_{2,1}) + V_2 \cdot (y_2 + y_{2,1} + y_{2,3} + y_{2,4}) + V_3(-y_{2,3}) + V_4(-y_{2,4}) \quad (3.20)$$

$$I_3 = V_1(-y_{3,1}) + V_2(-y_{3,2}) + V_3 \cdot (y_3 + y_{3,1} + y_{3,2} + y_{3,4}) + V_4(-y_{3,4}) \quad (3.21)$$

$$I_4 = V_1(-y_{4,1}) + V_2(-y_{4,2}) + V_3(-y_{4,3}) + V_4 \cdot (y_4 + y_{4,1} + y_{4,2} + y_{4,3}) \quad (3.22)$$

Conjeturando que a admitância do barramento j ao barramento i é a mesma que a admitância do barramento i ao barramento j , temos $y_{j,i} = y_{i,j}$. Pelas equações anteriores, verifica-se que as injeções de corrente são funções lineares em função das tensões nos barramentos. Estas equações podem, então, ser escritas matricialmente, como demonstrado em (3.23).

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 + y_{1,2} + y_{1,3} + y_{1,4} & -y_{1,2} & -y_{1,3} & -y_{1,4} \\ -y_{2,1} & y_2 + y_{2,1} + y_{2,3} + y_{2,4} & -y_{2,3} & -y_{2,4} \\ -y_{3,1} & -y_{3,2} & y_3 + y_{3,1} + y_{3,2} + y_{3,4} & -y_{3,4} \\ -y_{4,1} & -y_{4,2} & -y_{4,3} & y_4 + y_{4,1} + y_{4,2} + y_{4,3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

A matriz que contém as admitâncias da rede é a matriz das admitâncias, denominada por \underline{Y} , demonstrado por (3.24).

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} y_1 + y_{1,2} + y_{1,3} + y_{1,4} & -y_{1,2} & -y_{1,3} & -y_{1,4} \\ -y_{2,1} & y_2 + y_{2,1} + y_{2,3} + y_{2,4} & -y_{2,3} & -y_{2,4} \\ -y_{3,1} & -y_{3,2} & y_3 + y_{3,1} + y_{3,2} + y_{3,4} & -y_{3,4} \\ -y_{4,1} & -y_{4,2} & -y_{4,3} & y_4 + y_{4,1} + y_{4,2} + y_{4,3} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Denotando o elemento na linha i , coluna j , como $Y_{i,j}$, reescrevemos a equação (3.24) como expresso em (3.25).

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & Y_{1,3} & Y_{1,4} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & Y_{2,3} & Y_{2,4} \\ Y_{3,1} & Y_{3,2} & Y_{3,3} & Y_{3,4} \\ Y_{4,1} & Y_{4,2} & Y_{4,3} & Y_{4,4} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Onde os termos $Y_{i,j}$ não são as admitâncias, mas sim elementos da matriz das admitâncias.

Logo, a equação (3.23) ganha a forma apresentada em (3.26).

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & Y_{1,3} & Y_{1,4} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & Y_{2,3} & Y_{2,4} \\ Y_{3,1} & Y_{3,2} & Y_{3,3} & Y_{3,4} \\ Y_{4,1} & Y_{4,2} & Y_{4,3} & Y_{4,4} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Através das equações (3.25) e (3.26) podemos reescrever esta última de forma compacta (3.27).

$$\underline{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}, \quad \underline{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad \underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{V} \quad (3.27)$$

Resumidamente, na construção da matriz das admitâncias podem ser admitidas algumas observações, tais como:

1. Tratam-se de matrizes simétricas, isto é $Y_{i,j} = Y_{j,i}$.
2. O elemento da diagonal principal $Y_{i,i}$ é obtido através da soma das restantes admitâncias dessa mesma linha da matriz, ou seja, é a soma das admitâncias de todas as ligações feitas ao barramento i , como apresentado em (3.28).

$$Y_{i,i} = y_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N y_{i,j} \quad (3.28)$$

É importante, mais uma vez, realçar que $y_{i,j}$ toma um valor diferente de zero apenas quando existe uma ligação física entre o barramento i e j .

3. Os elementos fora da diagonal principal são o negativo das admitâncias que ligam os barramentos i e j , isto é, $Y_{i,j} = -y_{j,i}$.

Com estas observações é possível criar a matriz das admitâncias de forma rápida a partir da rede com base na inspeção visual.

No que se refere à condutância e susceptância das linhas, sendo $Y_{i,j}$ a matriz das admitâncias, e sendo geralmente complexa, poderão definir-se os elementos $G_{i,j}$ e $B_{i,j}$ como as partes real e imaginária do elemento de matriz de admitância $Y_{i,j}$ respetivamente, de modo que $Y_{i,j} = G_{i,j} + B_{i,j}$.

3.6 DECOMPOSIÇÃO DE BENDERS

Na resolução de problemas de operação e reconfiguração de redes de distribuição torna-se indispensável efetuar a divisão do problema em subproblemas de modo a simplificar o mesmo. Esta divisão traz grandes benefícios ao nível computacional, principalmente pelo facto de, neste caso, se tratar de um problema não linear.

O método da Decomposição de Benders, através da teoria da dualidade em programação matemática linear e não linear, permite efetuar a divisão do problema em subproblemas com variáveis específicas que são resolvidas iterativamente com o objetivo de atingir a solução ótima do problema. Esta metodologia considera todas as variáveis envolvidas e são aplicados conceitos de linearização externa e de dualização.

A decomposição de Benders, para um problema com duas etapas de decisão, pode ser apresentada da seguinte forma [30]:

Considerando um problema MILP:

$$\text{Minimizar } f^T y + c^T x \quad (3.29)$$

$$s.a. \quad Ay = b \quad (3.30)$$

$$By + Dx = d \quad (3.31)$$

$$x \geq 0 \quad (3.32)$$

$$y \geq 0 \text{ e inteiro} \quad (3.33)$$

Onde $y \in \mathbb{R}^{n_1}$ são consideradas as variáveis de complicação, que tomam valores positivos e satisfazem a restrição (3.30), onde $A \in \mathbb{R}^{m_1 \cdot n_1}$ é uma matriz conhecida e $b \in \mathbb{R}^{m_1}$ é um vetor dado. As variáveis contínuas $x \in \mathbb{R}^{n_2}$, juntamente com as variáveis y , devem satisfazer a restrição de vinculação definida por (3.31), com $B \in \mathbb{R}^{m_2 \cdot n_1}$, $D \in \mathbb{R}^{m_2 \cdot n_2}$ e $d \in \mathbb{R}^{m_2}$. A função objetivo minimiza o custo total com os vetores de custo $f \in \mathbb{R}^{n_1}$ e $c \in \mathbb{R}^{n_2}$.

A função objetivo e as respeitantes restrições, (3.29) – (3.33), podem ser reescritas da seguinte forma:

$$\min_{\bar{y} \in Y} \left\{ f^T \bar{y} + \min_{x \geq 0} \{ c^T x : Dx = d - B\bar{y} \} \right\} \quad (3.34)$$

Onde \bar{y} é um valor dado para a variável de complicação que pertence ao conjunto $Y = \{y \mid Ay = b, y \geq 0 \text{ e inteiro}\}$. A minimização interna é um problema linear contínuo que pode ser dualizado através de variáveis duplas π associadas à restrição (3.31):

$$\max_{\pi \in \mathbb{R}^{m_2}} \left\{ \pi^T (d - B\bar{y}) : \pi^T D \leq c \right\} \quad (3.35)$$

Com base na teoria da dualidade, as formulações podem ser trocadas de forma a extrair a formulação equivalente expressa em (3.36).

$$\min_{\bar{y} \in Y} \left\{ f^T \bar{y} + \max_{\pi \in \mathbb{R}^{m_2}} \left\{ \pi^T (d - B\bar{y}) : \pi^T D \leq c \right\} \right\} \quad (3.36)$$

O conjunto de soluções viáveis da maximização interna, isto é, $F = \{\pi \mid \pi^T D \leq c\}$, é independente da escolha de \bar{y} . Assim, se F é um conjunto vazio, então o problema interno pode ser ilimitado ou viável para a escolha arbitrária de \bar{y} .

No primeiro caso, dado o conjunto de pontos externos Q de F , existe um critério sem limites r_q , $q \in Q$ para cada $r_q^T (d - B\bar{y}) > 0$. Esta situação deve ser evitada uma vez que indica que não há uma solução possível para \bar{y} . Neste caso é adicionado um corte ao problema, isto é, a restrição (3.37), no sentido de obter a sua convergência.

$$r_q^T (d - B\bar{y}) \leq 0 \quad \forall q \in Q \quad (3.37)$$

Nesta circunstância, a solução da maximização interna é um dos pontos extremos π_e , com $e \in E$, onde E é o conjunto de pontos extremos de F . Se adicionarmos ao problema de minimização externa todos os cortes da forma representada em (3.37), o valor do problema interno é um dos pontos extremos. Consequentemente, o problema pode ser formulado como:

$$\min_{\bar{y} \in Y} \quad f^T \bar{y} + \max_{e \in E} \{ \pi_e^T (d - B\bar{y}) \} \quad (3.38)$$

$$s.a. \quad r_q^T (d - B\bar{y}) \leq 0 \quad \forall q \in Q \quad (3.39)$$

Este problema pode ser facilmente linearizado através de uma variável contínua $\eta \in \mathbb{R}^1$ para dar a formulação equivalente do problema inicial, (3.29) - (3.33), referido como subproblema “mestre”:

$$\min_{y, \eta} \quad f^T y + \eta \quad (3.40)$$

$$s.a. \quad Ay = b \quad (3.41)$$

$$\eta \geq \pi_e^T (d - By) \quad \forall e \in E \quad (3.42)$$

$$0 \geq r_q^T (d - By) \quad \forall q \in Q \quad (3.43)$$

$$y \geq 0 \text{ e inteiro} \quad (3.44)$$

As restrições (3.42) e (3.43) são referentes à otimização e viabilidade dos cortes de Benders, respetivamente. Geralmente, a enumeração completa destes cortes não é prática, pelo que Benders [37] propôs uma relaxação dos cortes de viabilidade e otimização e uma abordagem iterativa.

Assim, o algoritmo para a decomposição de Benders resolve repetidamente o subproblema “mestre”, que inclui apenas um subconjunto de restrições, (3.42) e (3.43), para obter um valor de ensaio para as variáveis y , isto é, \bar{y} . Se o subproblema é viável e limitado, é produzido um corte do tipo (3.42). Se o subproblema é ilimitado, é produzido um corte do tipo (3.43). Se os cortes são violados pela solução atual, são inseridos no subproblema “mestre” atual e o processo repete-se.

O fluxograma apresentado na Figura 6 descreve o processo iterativo com os respetivos passos do método da decomposição de Benders.

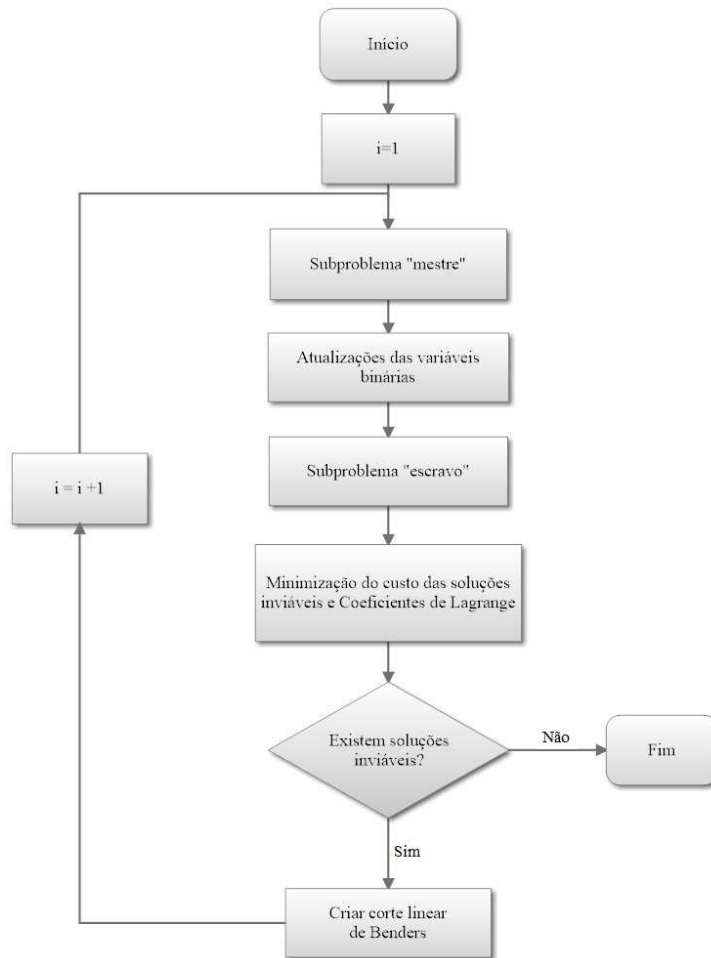


Figura 6 - Fluxograma representativo da metodologia da decomposição de Benders

A solução do limite inferior do subproblema “mestre” pode incluir algumas restrições técnicas. Assim sendo, a solução do subproblema “mestre” é verificada pelo subproblema “escravo” que avalia se essa solução satisfaz todas as restrições técnicas impostas.

Sendo o subproblema “escravo” possível, então a solução do limite superior do problema original é atingida. Por conseguinte, caso o subproblema “escravo” seja impossível é criada uma nova função objetivo para otimizar a solução do subproblema “mestre” onde é introduzido um corte, representando a restrição menos satisfatória.

Considerando as novas restrições no subproblema “mestre”, obtém-se uma nova solução limite inferior do problema original. Sendo este um processo iterativo, só termina quando se obtém a solução ótima do problema original, isto é, quando os dois limites (superior e inferior) estão próximos.

3.7 FORMULAÇÃO QUADRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA

A primeira parte do problema de otimização para a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, tal como referido no subcapítulo 3 – Técnica de otimização, é considerada quadrática, tratando-se neste caso do subproblema “mestre”. Através deste é definida a topologia radial da rede e são determinadas as variáveis de decisão. A sua formulação, com recurso ao *software* TOMLAB® [38] utilizando o *solver* CPLEX para resolução do problema MILP, é feita da seguinte forma:

3.7.1 FUNÇÃO OBJETIVO DO SUBPROBLEMA “MESTRE”

A função objetivo pretende:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } & \sum_{i=1}^N Sgen_i + \sum_{i=1}^N SExGen_i + \sum_{i=1}^N SDR_i + \sum_{i=1}^N PNE_i + \sum_{i=1}^N stDsc_i + \\ & + \sum_{i=1}^N MarketBuy_i + \sum_{i=1}^N MarketSell_i + Losses + \alpha \end{aligned} \quad (3.45)$$

onde:

- $Sgen_i \rightarrow$ Valor de energia aparente produzida pelas várias tipologias de produção no barramento i – subestação, energia eólica, energia fotovoltaica e energia produzida através de biomassa, em $p.u.$;
- $SExGen_i \rightarrow$ Valor de excesso de produção de energia aparente no barramento i – mais frequente em períodos do dia em que existem diversas fontes de energia renováveis em funcionamento, mais concretamente eólica e fotovoltaica, em $p.u.$;
- $SDR_i \rightarrow$ *Demand Response* aparente no barramento i – valor de possível redução de carga, em $p.u.$ (ver subcapítulo 2.4);
- $PNE_i \rightarrow$ Valor de potência não entregue no barramento i , em $p.u.$;
- $stDsc_i \rightarrow$ Descarga do sistema de armazenamento de energia no barramento i , em $p.u.$;
- $MarketBuy_i \rightarrow$ Valor de energia comprado no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
- $MarketSell_i \rightarrow$ Valor de energia vendido no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
- $Losses \rightarrow$ Perdas de energia do sistema, em $p.u.$ (ver subcapítulo 3.4);

$\alpha \rightarrow$ Corte linear de Benders, utilizado para a decomposição de Benders (ver subcapítulo 3.6);

$N \rightarrow$ Número de barramentos da rede.

Todas as variáveis presentes na função objetivo são multiplicadas por coeficientes de custo, dependendo do custo a que se encontram sujeitas essas mesmas variáveis.

Numa situação ideal o valor de α será zero, uma vez que indica que a FO do subproblema “mestre” é igual à FO do subproblema “escravo”. Nesta situação, a topologia da rede e os seus componentes satisfazem todas as restrições técnicas sem qualquer alteração.

3.7.2 RESTRIÇÕES DO SUBPROBLEMA “MESTRE”

A função objetivo do subproblema “mestre” expressa por (3.45) está sujeita a diversas restrições técnicas expressas em (3.46) - (3.68).

Nas expressões (3.46) - (3.50) estão representados os limites técnicos associados a cada uma das variáveis, como os limites de produção e excessos produzidos pelas mesmas, (3.46) e (3.47) respetivamente; a capacidade de *Demand Response* de cada carga (3.48); os limites de potência não entregue – PNE (3.49) e os limites térmicos das linhas (3.50)

- Limites de produção:

$$Sgen_i^{min} \leq Sgen_i \leq Sgen_i^{max} \quad (3.46)$$

- Limites do excesso de produção:

$$0 \leq SExgen_i \leq Sgen_i \quad (3.47)$$

- *Demand response*:

$$0 \leq SDR_i \leq SDR_i^{max} \quad (3.48)$$

- Potência não entregue:

$$0 \leq PNE_i \leq SLoad_i \quad (3.49)$$

- Limites térmicos das linhas:

$$0 \leq S_{i,j} \leq S_{i,j}^{m\acute{a}x} \cdot u_{i,j} \quad (3.50)$$

Onde:

- $S_{gen_i}^{min}$ – Limite mínimo de potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;
- S_{gen_i} – Potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $S_{gen_i}^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo de potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $SExGen_i$ – Valor de excesso de produção de energia aparente, no barramento i , em $p.u.$;
- SDR_i – Valor de *Demand Response* aparente no barramento i , em $p.u.$;
- $SDR_i^{m\acute{a}x}$ – Valor máximo de *Demand Response* aparente no barramento i , em $p.u.$;
- PNE_i – Potência não entregue, no barramento i , em $p.u.$;
- $SLoad_i$ – Valor da carga aparente no barramento i , em $p.u.$;
- $S_{i,j}$ – Potência aparente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
- $S_{i,j}^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo de potência aparente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;

Nas expressões (3.51) - (3.54) estão representadas as restrições referentes à compra de energia no mercado [39]. Neste caso, existem dois tipos de mercado: um mercado a prazo – $Market_i$, e um mercado de ajustes – $MarketBuy_i$ e $MarketSell_i$. No primeiro caso, expressão (3.51), prevê-se a existência de um mercado a prazo gerido pelo Operador de Mercado Ibérico (OMI), onde são disponibilizados produtos normalizados, podendo estes produtos assumir a forma de “blocos de potência” com uma duração fixa e pré-definida. No segundo caso, expressões (3.52) - (3.54), o mercado de ajustes permite a participação de todos os agentes, independentemente do modo de contratação que elegeram previamente: bilateral, mercado a prazo ou mercado diário.

O mecanismo de compra/venda é similar ao do mercado diário e tem várias sessões diárias. A sua conceção de detalhe requer uma análise técnica aprofundada e a sua elaboração deve ser conduzida por um grupo de trabalho coordenado para o efeito pelos Operadores de Sistema e pelo OMI, após a sua constituição, com a participação dos agentes do mercado e a supervisão das autoridades de regulação. Este tipo de mercado apenas é usado em situações de contingência, onde a rede, por si só, não consegue repor o normal funcionamento da rede de distribuição. As expressões (3.52) e (3.53) refletem os limites máximos do valor para compra e venda de energia no mercado de ajustes. A expressão (3.54) impossibilita a compra e venda em simultâneo neste mercado.

- Compra de energia ao mercado:

$$Market_i = Market_i^{contract} \quad (3.51)$$

$$0 \leq MarketBuy_i \leq MarketBuy_i^{max} \quad (3.52)$$

$$0 \leq MarketSell_i \leq MarketSell_i^{max} \quad (3.53)$$

$$MarketXBuy_i + MarketXSell_i \leq 1 \quad (3.54)$$

Onde:

$Market_i$	–	Valor de energia comprado no mercado a prazo no barramento i , em $p.u.$;
$Market_i^{contract}$	–	Valor de energia contratado ao mercado a prazo no barramento i , em $p.u.$;
$MarketXBuy_i$	–	Valor de energia comprado no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketBuy_i^{max}$	–	Limite máximo de compra de energia no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketXSell_i$	–	Valor de energia vendido no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketSell_i^{max}$	–	Limite máximo de venda de energia no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
$MarketXBuy_i$	–	Valor de energia comprado no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;

$MarketXSell_i$ – Valor de energia vendido no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;

As expressões (3.55) - (3.57) representam as restrições associadas ao sistema de armazenamento de energia, isto é, a capacidade das baterias associada ao poder de carga e de descarga das mesmas, expressões (3.55) e (3.56), respetivamente. A imposição de não ser permitido que a bateria carregue e descarregue ao mesmo tempo é traduzida pela expressão (3.57).

- Sistema de armazenamento de energia em baterias:

$$0 \leq StChar_i \leq StChar_i^{m\acute{a}x} \quad (3.55)$$

$$0 \leq StDsc_i \leq StDsc_i^{m\acute{a}x} \quad (3.56)$$

$$StXChar_i + StXDsc_i \leq 1 \quad (3.57)$$

Onde:

$StChar_i$ – Valor de carregamento do SAE no barramento i , em $p.u.$;
 $StChar_i^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo de carregamento do SAE no barramento i , em $p.u.$;
 $StDsc_i$ – Valor de descarga do SAE no barramento i , em $p.u.$;
 $StDsc_i^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo de descarga do SAE no barramento i , em $p.u.$;
 $StXChar_i$ – Variável binária para carregamento do SAE no barramento i ;
 $StXDsc_i$ – Variável binária para descarga do SAE no barramento i ;

Nas expressões (3.58) - (3.60), o processo é muito semelhante ao referido para o sistema de armazenamento de energia, onde está imposto o limite referente à capacidade de carregamento dos parques de veículos elétricos (3.58). No que se refere à descarga, esta não pode ser considerada, uma vez que, neste trabalho, consideram-se parques de carregamento e não o denominado V2G¹⁴ – veículos para a rede [40]. Assim sendo, não existe qualquer

¹⁴ Em inglês: *Vehicle-to-grid*

controlo sobre a descarga nos parques (3.59). Apesar de neste trabalho a abordagem ser feita desta forma, o código desenvolvido permite inserir esse controlo. Na expressão (3.60), não existindo a possibilidade de controlo sobre a descarga dos parques para veículos elétricos, está expressa a restrição que indica que o parque ou está a carregar, ou não está a carregar.

- Sistema de parques para veículos elétricos:

$$0 \leq EVChar_i \leq EVChar_i^{máx} \quad (3.58)$$

$$EVDsc_i = 0 \quad (3.59)$$

$$EVXChar_i \leq 1 \quad (3.60)$$

Onde:

- $EVChar_i$ – Valor de carregamento de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
- $EVChar_i^{máx}$ – Limite máximo de carregamento de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
- $EVDsc_i$ – Valor de descarga de parque para veículos elétricos no barramento i , em $p.u.$;
- $EVXChar_i$ – Variável binária para carregamento de parque para veículos elétricos no barramento i ;

A expressão (3.61) representa o balanço energético nos barramentos da rede – 1ª Lei de Kirchhoff, onde estão representados todos os fluxos que entram e saem de cada barramento.

- Balanço de energia – Primeira lei de Kirchhoff:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N Sgen_i - \sum_{i=1}^N SExgen_i - \sum_{i=1}^N SLoad_i + \sum_{i=1}^N SDR_i + \sum_{i=1}^N PNE_i - \\ & - \sum_{i=1}^N StChar_i + \sum_{i=1}^N StDsc_i - \sum_{i=1}^N EVChar_i + \sum_{i=1}^N EVDsc_i + \\ & + \sum_{i,j=1}^N S_{i,j} - \sum_{i,j=1}^N S_{j,i} + \sum_{i=1}^N Market_i^{contract} - \sum_{i=1}^N MarketSell_i + \sum_{i=1}^N MarketBuy_i = 0 \end{aligned} \quad (3.61)$$

O sentido unidirecional do fluxo de potência é estabelecido pela restrição (3.62), onde não é permitido haver trânsito nos dois sentidos simultaneamente. A radialidade da rede é imposta pela expressão (3.63) onde o somatório do número de linhas da rede de distribuição que se encontram em funcionamento tem de ser inferior ao número de barramentos que contemplam a rede, sendo esta diferença o número de subestações presentes na rede.

- Sentido unidirecional do fluxo de potência:

$$u_{i,j} + u_{j,i} \leq 1 \quad (3.62)$$

- Condição de radialidade da rede:

$$\sum_{i=1}^N u_{i,j} = N - n_s \quad (3.63)$$

Onde:

- | | | |
|-----------|---|--|
| $u_{i,j}$ | – | Variável binária de existência física de linha entre o barramento i e o barramento j ; |
| N | – | Número de barramentos da rede de distribuição; |
| n_s | – | Número de subestações da rede; |

De acordo com M. Lavorato et. al [41], uma outra restrição, associada à questão da radialidade da rede, que pode substituir a expressão (3.63), trata-se da inclusão da consideração que é feita aos denominados barramentos de transferência, isto é, barramentos que não são terminais e que não têm carga nem PD. Estes fazem a conexão entre barramentos com carga e/ou com PD. Completando a expressão (3.63) temos a expressão (3.64) onde são contemplados os barramentos de transferência. Esta expressão, em conjunto com as (3.65) - (3.68) evita a produção em *loop* e impedem que estes barramentos sejam terminais.

- Barramentos de transferência:

$$\sum_{i,j=1}^N u_{i,j} = N - n_s - \sum_{j=1}^N (1 - y_j) \quad (3.64)$$

$$u_{i,j} \leq y_j \quad (3.65)$$

$$u_{j,i} \leq y_j \quad (3.66)$$

$$\sum_{i,j=1}^N u_{i,j} + \sum_{j,i=1}^N u_{j,i} \geq 2y_j \quad (3.67)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (3.68)$$

Onde:

y_j – Variável binária associada aos barramentos de transferência;

Este trabalho é executado de acordo com a condição de radialidade (3.63), uma vez que os barramentos de transferência fazem parte da topologia radial, pelo que têm que estar ligados fisicamente à subestação e assim fazer parte integrante da rede. Assim sendo, um método simples, é assumir um pequeno valor de carga (por exemplo, 10^{-6} p.u.) em todos os barramentos de transferência para garantir que todos os barramentos se encontram interligados. A consideração dos barramentos de transferência de acordo com as expressões (3.64) - (3.68), torna o processo mais moroso, uma vez que tem uma velocidade de processamento inferior devido à necessidade de um maior recurso computacional, tornando-a uma solução inviável em tempo útil.

Os cortes lineares de Benders encontram-se na expressão (3.69) onde constam os valores dos coeficientes de Lagrange associados às binárias existentes no problema e que são obtidos através do subproblema “escravo” na iteração anterior.

- Cortes lineares de Benders:

$$\begin{aligned} \alpha^* \geq & Z_{up}^{it-1} + \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{Sgen}^{it-1} \cdot (X_{Sgen}^{it} - X_{Sgen}^{it-1}) + \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{StChar(i)}^{it-1} \cdot (X_{StChar(i)}^{it} - X_{StChar(i)}^{it-1}) + \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{StDsc(i)}^{it-1} \cdot (X_{StDsc(i)}^{it} - X_{StDsc(i)}^{it-1}) + \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{EVChar(i)}^{it-1} \cdot (X_{EVChar(i)}^{it} - X_{EVChar(i)}^{it-1}) + \\ & + \sum_{i,j=1}^N \lambda_{u(i,j)}^{it-1} \cdot (X_{u(i,j)}^{it} - X_{u(i,j)}^{it-1}) + \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{MarketSell(i)}^{it-1} \cdot (X_{MarketSell(i)}^{it} - X_{MarketSell(i)}^{it-1}) + \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{MarketBuy(i)}^{it-1} \cdot (X_{MarketBuy(i)}^{it} - X_{MarketBuy(i)}^{it-1}) \end{aligned} \quad (3.69)$$

Onde:

it	– Iteração atual;
$it-1$	– Iteração anterior;
Z_{up}	– Soma das soluções inviáveis do subproblema “escravo”;
$\lambda_{Sgen(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição da produção de energia, no barramento i , da iteração $it-1$;
X_{Sgen}^{it}	– Variável binária referente à produção de energia, no barramento i , da iteração atual;
X_{Sgen}^{it-1}	– Variável binária referente à produção de energia, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{StChar(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de carga dos SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{StChar(i)}^{it}$	– Variável binária referente à carga dos SAE, no barramento i , da iteração atual;
$X_{StChar(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à carga dos SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{StDsc(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de descarga do SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{StDsc(i)}^{it}$	– Variável binária referente à descarga dos SAE, no barramento i , da iteração atual;
$X_{StDsc(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à descarga dos SAE, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{EVChar(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição do carregamento do parque destinado a veículos elétricos, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{EVChar(i)}^{it}$	– Variável binária referente ao carregamento do parque destinado a veículos elétricos, no barramento i , da iteração atual;
$X_{EVChar(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente ao carregamento do parque destinado a veículos elétricos, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{u(i,j)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de radialidade da rede de distribuição, entre os barramentos i e j , da iteração anterior;

$X_{u(i,j)}^{it}$	– Variável binária referente ao funcionamento da linha entre os barramentos i e j , da iteração atual;
$X_{u(i,j)}^{it-1}$	– Variável binária referente ao funcionamento da linha entre os barramentos i e j , da iteração anterior;
$\lambda_{MarketSell(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de venda de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{MarketSell(i)}^{it}$	– Variável binária referente à venda de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração atual;
$X_{MarketSell(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à venda de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior;
$\lambda_{MarketBuy(i)}^{it-1}$	– Coeficiente de Lagrange associado à restrição de compra de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior;
$X_{MarketBuy(i)}^{it}$	– Variável binária referente à compra de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração atual;
$X_{MarketBuy(i)}^{it-1}$	– Variável binária referente à compra de energia no mercado de ajustes, no barramento i , da iteração anterior.

Para além das restrições suprarreferidas, é importante clarificar que a formulação utilizada neste trabalho não permite a criação de “ilhas”, isto é, não permite que exista abertura de linhas deixando zonas a autossustentarem-se através de PD, pelo que as linhas terão de estar todas ligadas fisicamente à ou às subestações que alimentam a rede em questão, como referido no parágrafo anterior. Apesar de neste trabalho a questão da radialidade ser abordada desta forma, o código desenvolvido permite que a inclusão de “ilhas” na rede seja considerada. A opção da não inclusão de “ilhas” neste trabalho deve-se, ao facto de, nos dias de hoje, em Portugal, a inclusão de PD não ser suficiente para que se possa tratar do problema desta forma.

3.8 FORMULAÇÃO NÃO LINEAR DA METODOLOGIA PROPOSTA

A segunda parte do problema de otimização para a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, tal como referido no subcapítulo 3 – Técnica de otimização, é considerada não linear, tratando-se neste caso do subproblema “escravo”. Com este, é possível verificar

a viabilidade da solução do subproblema “mestre” através da resolução de um trânsito de potências ótimo. A sua formulação, com recurso ao *software* TOMLAB® utilizando o *solver* SNOPT para resolução do problema NLP, é feita da seguinte forma:

3.8.1 FUNÇÃO OBJETIVO DO SUBPROBLEMA “ES CRAVO”

A função objetivo pretende:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } & \sum_{i=1}^N ZA_i + \sum_{i=1}^N ZQ_i + \sum_{i=1}^N ZF_i + \sum_{i=1}^N Sgen_i + \sum_{i=1}^N SExGen_i + \sum_{i=1}^N SDR_i + \sum_{i=1}^N PNE_i \\ & + \sum_{i=1}^N stDsc_i + \sum_{i=1}^N MarketBuy_i + \sum_{i=1}^N MarketSell_i + Losses \end{aligned} \quad (3.70)$$

Onde:

- ZA_i, ZQ_i e ZF_i → Variáveis de relaxação Lagrangeana (ver subcapítulo 3.6);
- $Sgen_i$ → Valor de energia aparente produzida pelas várias tipologias de produção no barramento i – subestação, energia eólica, energia fotovoltaica e energia produzida através de biomassa, em $p.u.$;
- $SExGen_i$ → Valor de excesso de produção de energia aparente no barramento i – mais frequente em períodos do dia em que existem diversas fontes de energia renováveis em funcionamento, mais concretamente eólica e fotovoltaica, em $p.u.$;
- SDR_i → *Demand Response* aparente – valor de possível redução de carga no barramento i , em $p.u.$;
- PNE_i → Valor de potência não entregue no barramento i , em $p.u.$;
- $stDsc_i$ → Descarga do sistema de armazenamento de energia no barramento i , em $p.u.$;
- $MarketBuy_i$ → Valor de energia comprado no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
- $MarketSell_i$ → Valor de energia vendido no mercado de ajustes no barramento i , em $p.u.$;
- $Losses$ → Perdas de energia do sistema, em $p.u.$ (ver subcapítulo 3.4);
- N → Número de barramentos da rede.

Todas as variáveis presentes na função objetivo são multiplicadas por coeficientes de custo, dependendo do custo a que se encontram essas mesmas variáveis sujeitas.

Tal como referido anteriormente, a FO do subproblema “mestre” deverá ser igual à FO do subproblema “escravo”, e para isso, as variáveis de relaxação Lagrangeana ZA , ZQ e ZF , numa situação ideal deverão ser zero, por forma a verificar que a topologia da rede e os seus componentes satisfazem todas as restrições técnicas sem qualquer alteração face ao subproblema “mestre”.

3.8.2 RESTRIÇÕES DO SUBPROBLEMA “ESCRAVO”

A função objetivo do subproblema “escravo” expressa por (3.70) está sujeita a diversas restrições técnicas expressas em (3.71) - (3.98). Algumas das expressões são muito similares às do subproblema “mestre”.

Nas expressões (3.71) a (3.80) estão representados os limites técnicos associados a cada uma das variáveis, como a tensão nos barramentos e o respetivo ângulo, (3.71) e (3.72) respetivamente; os limites de produção, ativos e reativos, (3.73) e (3.74), a energia aparente (3.75), e os limites de excesso produzidos pelas mesmas, (3.76), (3.77) e (3.78) respetivamente; a capacidade de *Demand Response* de cada carga (3.79) e os limites de potência não entregue – PNE (3.80).

- Tensão nos barramentos:

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (3.71)$$

- Ângulo da tensão nos barramentos:

$$\theta_i^{min} \leq \theta_i \leq \theta_i^{max} \quad (3.72)$$

Onde:

- V_i — Tensão no barramento i , em $p.u.$;
- V_i^{min} — Limite mínimo da tensão no barramento i , em $p.u.$;
- V_i^{max} — Limite máximo da tensão no barramento i , em $p.u.$;
- θ_i — Ângulo da tensão no barramento i , em rad ;
- θ_i^{min} — Limite mínimo do ângulo da tensão no barramento i , em rad ;

$\theta_i^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo do ângulo da tensão no barramento i , em rad .

- Limites de produção:

$$Pgen_i^{min} \leq Pgen_i \leq Pgen_i^{m\acute{a}x} \quad (3.73)$$

$$Qgen_i^{min} \leq Qgen_i \leq Qgen_i^{m\acute{a}x} \quad (3.74)$$

$$Sgen_i = \sqrt{Pgen_i^2 + Qgen_i^2} \quad (3.75)$$

Onde:

- $Pgen_i$ – Energia ativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $Pgen_i^{min}$ – Limite mínimo de energia ativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $Pgen_i^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo de energia ativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $Qgen_i$ – Energia reativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $Qgen_i^{min}$ – Limite mínimo de energia reativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $Qgen_i^{m\acute{a}x}$ – Limite máximo de energia reativa produzida no barramento i , em $p.u.$;
- $Sgen_i$ – Potência aparente produzida no barramento i , em $p.u.$;

- Excesso de produção:

$$0 \leq PExGen_i \leq Pgen_i \quad (3.76)$$

$$0 \leq QExGen_i \leq Qgen_i \quad (3.77)$$

$$SExGen_i = \sqrt{PExGen_i^2 + QExGen_i^2} \quad (3.78)$$

Onde:

- $PExGen_i$ – Valor de excesso de produção de energia ativa, no barramento i , em $p.u.$;
- $QExGen_i$ – Valor de excesso de produção de energia reativa, no barramento i , em $p.u.$;
- $SExGen_i$ – Valor de excesso de produção de energia aparente, no barramento i , em $p.u.$;

- *Demand response:*

$$0 \leq SDR_i \leq SDR_i^{m\acute{a}x} \quad (3.79)$$

- Potência não entregue:

$$0 \leq PNE_i \leq SLoad \quad (3.80)$$

Nas expressões (3.81) - (3.84) estão representadas as restrições referentes à compra e venda de energia no mercado [39]. Para maior detalhe, pode ser consultado a explicação presente no subcapítulo 3.7.2.

- Compra de energia ao mercado:

$$Market_i = Market_i^{contract} \quad (3.81)$$

$$0 \leq MarketBuy_i \leq MarketBuy_i^{m\acute{a}x} \quad (3.82)$$

$$MarketSell_i \leq MarketSell_i^{m\acute{a}x} \quad (3.83)$$

$$MarketXBuy_i + MarketXSell_i \leq 1 \quad (3.84)$$

Nas expressões (3.85) - (3.87) estão indicadas as restrições associadas ao sistema de armazenamento de energia, isto é, a capacidade das baterias associada ao poder de carga e de descarga das mesmas, expressões (3.85) e (3.86) respetivamente. Mais ainda a imposição de não ser permitido que a bateria carregue e descarregue ao mesmo tempo (3.87).

- Sistema de armazenamento de energia:

$$0 \leq StChar_i \leq StChar_i^{m\acute{a}x} \quad (3.85)$$

$$0 \leq StDsc_i \leq StDsc_i^{m\acute{a}x} \quad (3.86)$$

$$StXChar_i + StXDsc_i \leq 1 \quad (3.87)$$

Nas expressões (3.88) - (3.90), o processo assemelha-se ao referido para o sistema de armazenamento de energia, onde está imposto o limite referente à capacidade de carregamento dos parques destinados a carregamento de veículos elétricos (3.88). Não sendo possível o controlo sobre a descarga dos parques, este toma o valor zero (3.89). No que se

refere ao carregamento este ou está a carregar, ou não está a carregar, de acordo com a sua variável binária (3.90).

- Sistema de parques para veículos elétricos:

$$0 \leq EVChar_i \leq EVChar_i^{m\acute{a}x} \quad (3.88)$$

$$EVDsc_i = 0 \quad (3.89)$$

$$EVXChar_i \leq 1 \quad (3.90)$$

As expressões (3.91) e (3.92) representam, respetivamente, o balanço energético, ativo e reativo, nos barramentos da rede – 1ª Lei de Kirchhoff – onde estão representados todos os fluxos que entram e saem de cada barramento. Nestas expressões foram incluídas as variáveis de relaxação ZA_i e ZQ_i para a decomposição de Benders (ver subcapítulo 3.6). Nas expressões (3.93) e (3.94) estão representadas as potências injetadas ativa e reativa nos barramentos, respetivamente.

- Balanço de energia – Ativo:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N Pgen_i - \sum_{i=1}^N PExgen_i - \sum_{i=1}^N PLoad_i + \sum_{i=1}^N PDR_i + \sum_{i=1}^N PNE_i - \\ & - \sum_{i=1}^N StChar_i + \sum_{i=1}^N StDsc_i - \sum_{i=1}^N EVChar_i + \sum_{i=1}^N EVDsc_i + \\ & + \sum_{i=1}^N Pinj_i + \sum_{i=1}^N Market_i^{contract} - \sum_{i=1}^N MarketSell_i + \sum_{i=1}^{N_v} MarketBuy_i + \sum_{i=1}^N ZA_i = 0 \end{aligned} \quad (3.91)$$

- Balanço de energia – Reativo:

$$\sum_{i=1}^N Qgen_i - \sum_{i=1}^N QExgen_i - \sum_{i=1}^N QLoad_i + \sum_{i=1}^N QDR_i + \sum_{i=1}^N PNE_i + \sum_{i=1}^N Qinj_i + \sum_{i=1}^N ZQ_i = 0 \quad (3.92)$$

- Potência ativa injetada nos barramentos

$$Pinj_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{i,j} \cdot \cos \theta_{i,j} + B_{i,j} \cdot \sen \theta_{i,j}) \quad (3.93)$$

- Potência reativa injetada nos barramentos

$$Q_{inj_i} = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{i,j} \cdot \sin \theta_{i,j} - B_{i,j} \cdot \cos \theta_{i,j}) \quad (3.94)$$

Onde:

- PDR_i — Demand Response ativa no barramento i , em $p.u.$;
- QDR_i — Demand Response reativa no barramento i , em $p.u.$;
- $Pinj_i$ — Potência ativa injetada no barramento i , em $p.u.$;
- $Qinj_i$ — Potência reativa injetada no barramento i , em $p.u.$;
- $B_{i,j}$ — Susceptância da linha entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
- $G_{i,j}$ — Condutância da linha entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;

O trânsito ativo, reativo e aparente nas linhas pode ser obtido através das expressões (3.95), (3.96) e (3.97), respetivamente. Na expressão (3.98) podem ser observadas as condições referentes aos limites térmicos da linha, associados também à respetiva variável de relaxação ZF_i . Os valores de $G_{i,j}$ e $B_{i,j}$ são calculados pela matriz das admitâncias como demonstrado no subtópico 3.5 – Matriz das admitâncias.

- Trânsito ativo nas linhas:

$$P_{i,j} = (V_i^2 - V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta_{i,j}) \cdot G_{i,j} - (V_i \cdot V_j \cdot \sin \theta_{i,j}) \cdot B_{i,j} \quad (3.95)$$

- Trânsito reativo nas linhas:

$$Q_{i,j} = -(V_i^2 - V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta_{i,j}) \cdot B_{i,j} - (V_i \cdot V_j \cdot \sin \theta_{i,j}) \cdot G_{i,j} \quad (3.96)$$

- Trânsito aparente nas linhas:

$$S_{i,j} = \sqrt{P_{i,j}^2 + Q_{i,j}^2} \quad (3.97)$$

$$0 \leq S_{i,j} \leq S_{i,j}^{máx} + ZF_i \quad (3.98)$$

Onde:

- $P_{i,j}$ – Potência ativa transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
- $Q_{i,j}$ – Potência reativa transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
- $S_{i,j}$ – Potência aparente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;
- $S_{i,j}^{máx}$ – Limite máximo de potência aparente transitada entre o barramento i e o barramento j , em $p.u.$;

3.9 SUMÁRIO

Neste capítulo, foram apresentados os métodos de otimização abordados na resolução do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição. Evidenciou-se a técnica de otimização, toda a vertente quadrática e vertente não linear do problema, bem como o tipo de problema associado e a respetiva função mono-objetivo. Para tratamento do problema utilizou-se o sistema por unidades, o qual se descreveu neste capítulo, assim como foi referenciado o modelo utilizado para o cálculo das perdas no sistema. Por último, demonstrou-se a formulação da matriz das admitâncias para, assim, apresentar a modelização e formulação do problema quadrático e não linear. Associada à técnica de otimização do problema, apresentou-se a metodologia da decomposição de Benders.

(Página intencionalmente deixada em branco)

4. ESTUDOS DE CASOS

Os diferentes estudos de casos efetuados para validação dos métodos de otimização e modelização, para o problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, são apresentados neste capítulo. Neste âmbito, são apresentadas duas redes, uma de testes e outra real, que permitirão verificar a viabilidade da aplicação da metodologia adotada. São efetuadas simulações para testar o modelo e pôr à prova a sua robustez e aplicabilidade.

4.1 OPERAÇÃO E RECONFIGURAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Nas redes de distribuição de energia elétrica, especialmente nas de exploração radial, é um grande desafio proporcionar continuidade de serviço e garantir todos os requisitos técnicos e de fiabilidade. Dada a crescente exigência por parte dos clientes e a própria dificuldade de manutenção e controlo de todos os equipamentos e dos seus requisitos técnicos, é de elevada importância a análise e tratamento de um número significativo de variáveis para assegurar a correta e eficiente operação e reconfiguração de uma rede de distribuição.

A introdução da PD nas redes de distribuição é uma nova realidade que proporciona diversas vantagens no que se refere à operação e reconfiguração da rede, como a melhoria da fiabilidade e a potencial redução de perdas na rede. Porém, estando algumas das PD's

condicionadas pela disponibilidade das fontes de energia primária, poderão apresentar alguma indisponibilidade criando dificuldades na operação e reconfiguração rede. De notar que a PD de centrais a biomassa é controlável e as restantes, como as centrais fotovoltaicas e eólicas, são fixas, dependentes do estado atmosférico verificado no local para o momento em consideração.

A exploração radial da rede é considerada economicamente mais favorável e de mais fácil exploração nas redes de distribuição e, assim, a metodologia apresentada baseia-se nesse princípio tendo em conta as seguintes considerações:

- Custos de produção de cada tecnologia, tanto alimentadores como PD's;
- Custos de excesso de produção de energia;
- Custos relacionados com a *demand response* efetuada;
- Custos com potência não entregue;
- Custos da descarga do sistema de armazenamento de energia para alimentação da rede;
- Custos de compra e venda de energia ao mercado de ajustes;
- Custos associados às perdas de energia na rede.

De acordo com as considerações efetuadas, a rede é verificada e é adotada uma topologia para o TPO e, sempre que há alguma alteração nesta, estamos perante uma reconfiguração onde foram alterados os estados de um ou mais seccionadores e/ou interruptores da rede.

As operações e reconfigurações da rede são feitas mediante uma falha na sua infraestrutura, nomeadamente, numa linha pertencente à rede de distribuição.

Para realização da otimização, o problema foi dividido em dois subproblemas, o subproblema “mestre” e o subproblema “escravo”, em conjunto com a decomposição de Benders.

O subproblema “mestre” é considerado um problema inteiro misto quadrático onde, por sua vez, é aplicado o TPO linear de acordo com a função objetivo e as restrições apresentadas em 3.7.1 e 3.7.2, respetivamente. Neste sentido, são feitas algumas simplificações que permitem determinar, por meio de aproximações, a topologia ótima da rede [42]. As simplificações consideradas são:

- Os módulos das tensões são constantes e iguais a 1 *p.u.* em todos os barramentos do sistema;
- As diferenças dos argumentos de barramentos adjacentes são pequenas pelo que (para θ expresso em radianos) temos:

$$\theta \approx 0 \Rightarrow \begin{cases} \cos \theta_{i,j} = 1 \\ \sin \theta_{i,j} = \theta_{i,j} \end{cases}$$

- As resistências dos componentes são desprezadas pelo que: $G_{i,j} \approx 0$ e $B_{i,j} \approx 1/X_{i,j}$
- Os trânsitos de energia ativa e reativa são considerados unicamente como trânsito de energia aparente, não sendo efetuado o cálculo individual de cada um dos tipos de energia;
- As perdas de energia na rede não são consideradas no modelo, apenas são tidas em conta na função objetivo de maneira a permitir minimizar o fluxo que transita nas linhas, multiplicando o seu quadrado pela resistência das linhas onde existe fluxo de potência:

$$Losses = r_{i,j} \cdot S_{i,j}^2$$

No caso do subproblema “escravo”, onde o modelo do trânsito de potências é o TPO-CA, as aproximações que foram efetuadas no caso do subproblema “mestre” deixam de ser consideradas, pelo que este se aproxima mais à realidade do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, sendo um problema não linear. Assim, foram consideradas as restrições referidas no subtópico 3.8.2 e a rede foi otimizada tendo em conta a minimização da função objetivo apresentada em 3.8.1.

As variáveis consideradas na função objetivo para o cálculo do TPO linear e TPO-CA são:

- Produção de cada tecnologia, tanto alimentadores como PD's;
- Excesso de produção de energia;
- *Demand response*;
- Potência não entregue;
- Mercado de ajustes – compra;

- Mercado de ajustes – venda;
- Carga do sistema de armazenamento de energia;
- Descarga do sistema de armazenamento de energia;
- Carregamento dos parques destinados a veículos elétricos.

Todas as variáveis mencionadas encontram-se restringidas tecnicamente e associadas a custos que são tidos em conta na resolução da otimização do trânsito de potências.

É importante lembrar que o subproblema “mestre” determina a topologia da rede ótima e o subproblema “escravo” verifica a viabilidade da solução que resultou do primeiro.

Para implementação destes estudos de caso, foi utilizado um computador com um processador Intel® Xeon® CPU W3520 2,66 GHz, 5 GB de RAM com um sistema operativo Windows 10 Pro 64 bits.

4.2 ESTUDOS DE CASO – REDE DE TESTES

A operação e reconfiguração da rede de distribuição foi testada numa rede de pequena dimensão, com vista a verificar a aplicação da metodologia adotada. Nesse sentido, foi considerada como rede de testes a apresentada na Figura 7. Esta rede de 15 kV possui os seguintes elementos:

- 1 subestação;
- 13 barramentos;
- 19 linhas de transmissão;
- 4 produtores distribuídos;
- 9 cargas;
- 2 sistemas de armazenamento de energia;
- 1 parque destinado a carregamento de veículos elétricos;
- 1 ligação ao mercado de energia.

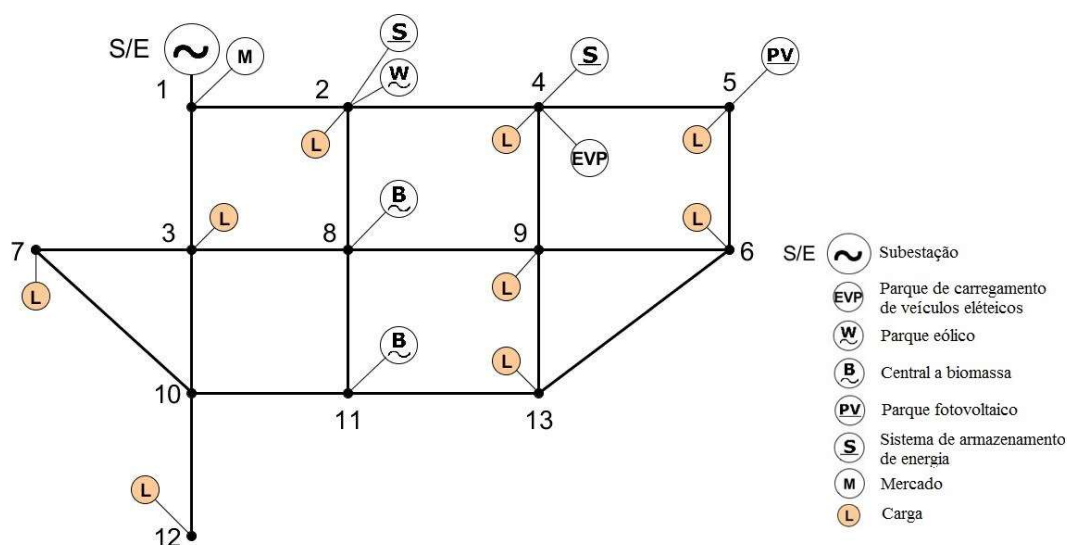


Figura 7 - Rede de testes – Diagrama unifilar da rede de distribuição

O barramento 1 é considerado o de referência e a base de potência aparente do sistema é 100 kVA. Para esta rede de testes, foram considerados os valores de 0,95 e 1,05 e de $-\pi$ e π para os limites inferiores e superiores dos módulos de tensão e os respectivos limites angulares para cada barramento. Os dados referentes à rede de testes estão apresentados nos anexos A.1.1 – A.1.4.

No que se refere ao tamanho do problema, este tem um total de 596 variáveis e 416 restrições aplicadas para o subproblema “mestre” e um total de 479 variáveis e 75 restrições aplicadas ao subproblema “escravo”, tendo um tempo de processamento total de aproximadamente 7 segundos.

4.2.1 TOPOLOGIA INICIAL

A rede foi testada inicialmente sem qualquer tipo de avaria, sendo estas provocadas posteriormente, para verificação do seu comportamento, no que se refere à sua topologia e à satisfação de todas as restrições referidas nos subtópicos 3.7.2 e 3.8.2. A rede foi otimizada tendo em consideração a função objetivo apresentada nos subcapítulos 3.7.1 e 3.8.1, para o subproblema “mestre” e “escravo”, respetivamente, levando à topologia inicial apresentada na Figura 8.

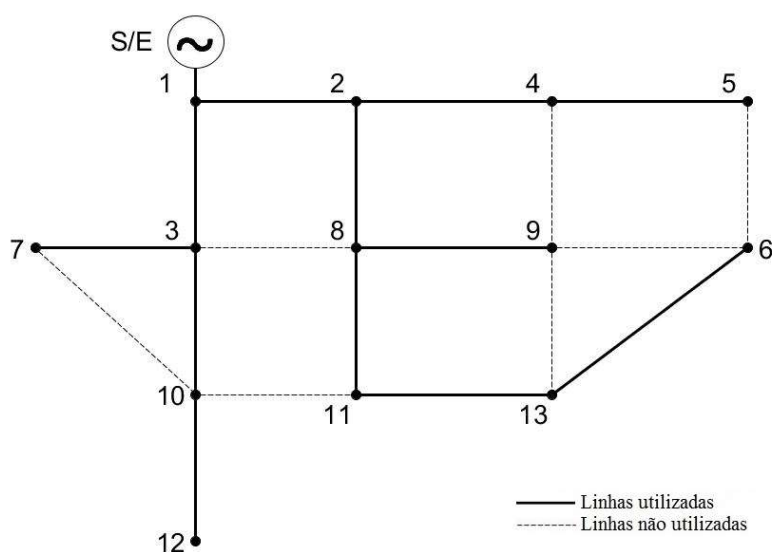


Figura 8 - Rede de testes – Topologia inicial

Na Figura 8 pode ser observada a topologia inicial aquando da otimização da rede. Neste sentido, as linhas em traço contínuo representam as ligações entre barramentos seleccionadas para efetuarem o trânsito de energia e, por sua vez, alimentar as cargas existentes na rede. As linhas a tracejado representam as linhas existentes que não se encontram em utilização, isto é, são possibilidades de ligação, mas que não foram realizadas.

O diagrama referente à topologia inicial tratado no subproblema “mestre”, com as informações mais relevantes no que se refere ao trânsito de energia na rede, para assim obter uma melhor perceção deste, apresenta-se na Figura 9.

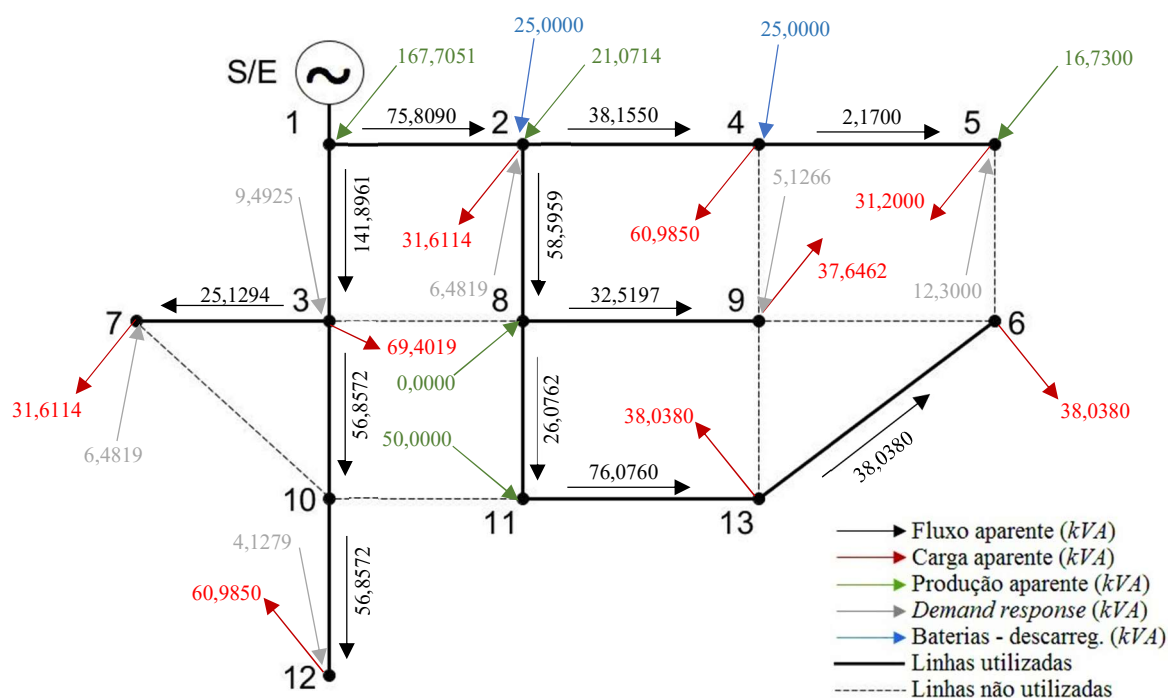


Figura 9 - Rede de testes – Topologia inicial – TPO linear (subproblema “Mestre”)

Assim, por exemplo, para percebermos a 1ª lei de Kirchhoff aplicada ao modelo, poderemos verificar a sua aplicação no barramento 2, observando as potências que “entram” e “saem” do barramento:

Entrada (Total de 128,3623 kVA):

- Fluxo transitado do barramento 1 para o barramento 2: 75,8090 kVA;
- Produção no barramento; 21,0714 kVA;
- Demand Response: 6,4819 kVA;
- Descarga do sistema de armazenamento de energia: 25,0000 kVA.

Saída (Total de 128,3623 kVA):

- Fluxo transitado do barramento 2 para o barramento 4: 38,1550 kVA;
- Fluxo transitado do barramento 2 para o barramento 8: 58,5959 kVA;
- Carga: 31,6114 kVA.

Todas as potências transitadas foram alvo de verificações, de modo a se encontrarem dentro de todas as restrições impostas para o problema do TPO.

Na Figura 10 está apresentado o TPO-CA para o subproblema “escravo”, no caso da topologia inicial.

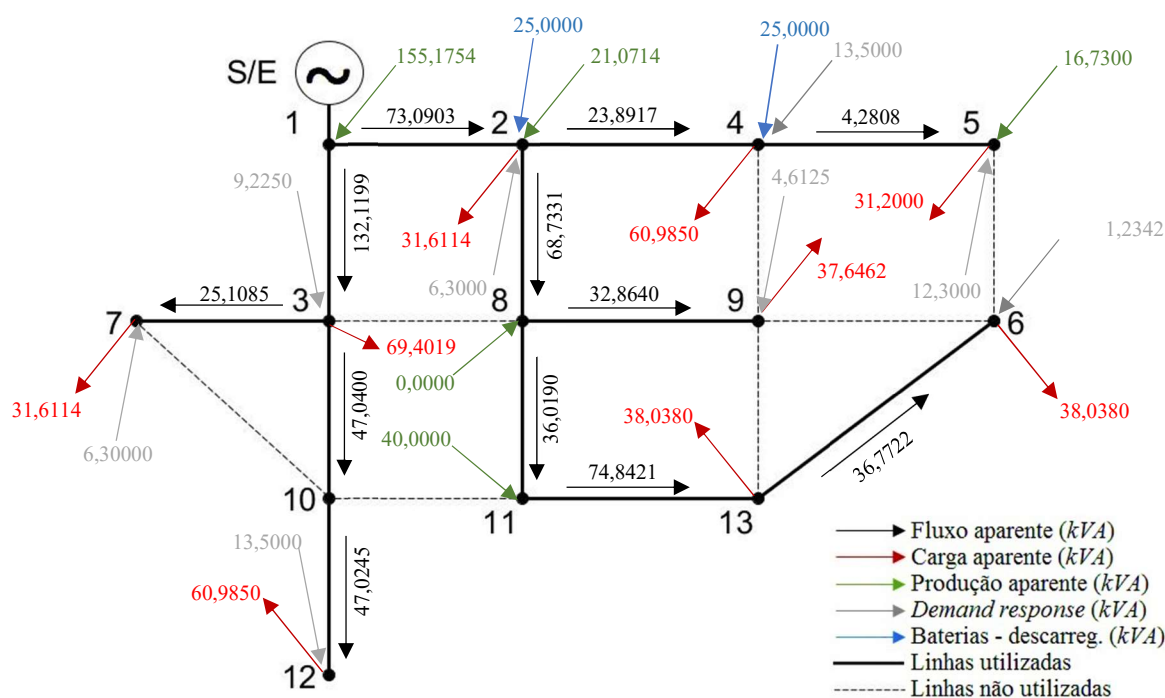


Figura 10 - Rede de testes – Topologia inicial – TPO-CA (subproblema “Escravo”)

Uma vez que as perdas, no caso do subproblema “escravo” estão a ser consideradas no trânsito de potências, pode-se verificar, por exemplo no barramento 2, o funcionamento da metodologia aplicada a este problema.

Entrada (Total de 125,4617 kVA):

- Fluxo transitado do barramento 1 para o barramento 2: 73,0903 kVA;
- Produção no barramento; 21,0714 kVA;
- Demand Response: 6,3000 kVA;
- Descarga do sistema de armazenamento de energia: 25,0000 kVA;

Saída (Total de 124,2362 kVA):

- Fluxo transitado do barramento 2 para o barramento 4: 23,8917 kVA;
- Fluxo transitado do barramento 2 para o barramento 8: 68,7331 kVA;
- Carga: 31,6114 kVA;

Posto isto, as perdas consideradas, para o subproblema “escravo” têm o valor de 1,2255 kVA.

Através deste pequeno exemplo, é possível verificar algumas diferenças entre os dois subproblemas apresentados e que, através da junção destes e com a decomposição de Benders, estamos a tratar de um problema determinístico bastante aproximado à realidade do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*.

Como se pode observar no apêndice A.1.5.7 e na Figura 11, as tensões nos barramentos encontram-se dentro dos limites estipulados ($\pm 5\%$) sofrendo uma diminuição ao longo da rede, isto é, nos extremos, a tensão é ligeiramente inferior. Neste caso, o valor mais baixo atingido encontra-se no fim de linha que termina no barramento 6, 0,2542 % abaixo da tensão nominal da rede com 14,9619 kV.

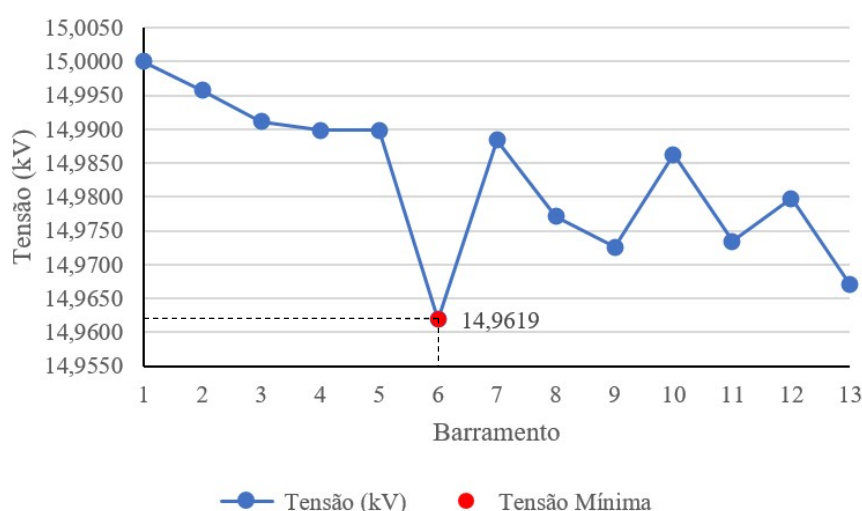


Figura 11 - Rede de testes – Gráfico das tensões nos barramentos – Topologia inicial

A mesma análise pode ser feita para as diversas variáveis que se encontram nos resultados apresentados.

No que se refere aos alimentadores (Tabela 2), os valores apresentados de produção e de trânsito são ligeiramente inferiores no subproblema “escravo”, pois este faz maior utilização da DR, permitindo reduzir o fluxo transitado e, por sua vez, as perdas na rede.

Tabela 2 - Rede de testes – Alimentadores – Topologia inicial

Alimentador	Mestre	Escravo
Produção (<i>kVA</i>)	167,7051	155,1754
Mercado a prazo (<i>kVA</i>)	50,0000	50,0000
Trânsito aparente B1 - B2 (<i>kVA</i>)	75,8090	73,0903
Trânsito aparente B1 - B3 (<i>kVA</i>)	141,8961	132,1199

Os restantes resultados da otimização efetuada ao problema, para a topologia inicial da rede de testes, podem ser consultados nos apêndices A.1.5.1 - A.1.5.7.

De acordo com esta topologia e com as considerações mencionadas nos tópicos da página 62, os custos gerais obtidos considerados na função objetivo encontram-se expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Rede de testes – Custos – Topologia inicial

Custos (€)								
Subproblema	<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3489	347,2293
Escravo	267,5726	0,0000	101,2227	0,0000	45,0000	0,0000	0,5270	414,3223

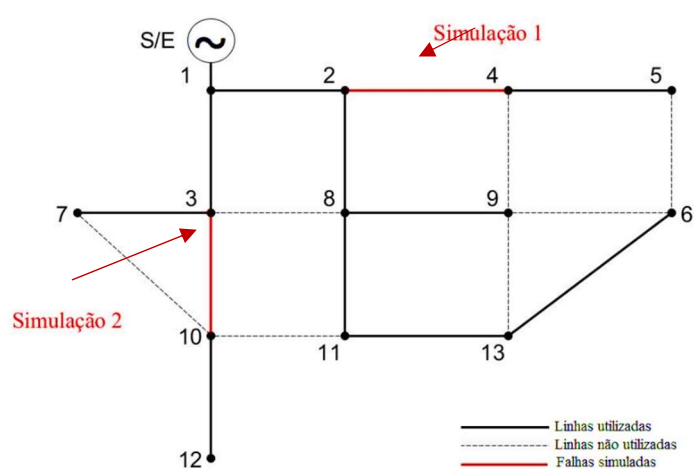
Como se pode observar, o subproblema “escravo” tem um custo mais elevado. Esta diferença é devida à utilização de uma metodologia mais aproximada da realidade do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, pois no subproblema “mestre” são efetuadas diversas aproximações. Assim sendo, o valor que representa o custo real do problema apresentado está refletido no subproblema “escravo”.

Atendendo aos resultados apresentados no apêndice A.1.5.7, é possível obter as perdas totais na rede que correspondem a 0,1899 % do total das suas produções, indicadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Rede de testes – Perdas totais – Topologia Inicial

Perdas totais ativas (kW)	Perdas totais reativas ($kvar$)	Perdas totais aparentes (kVA)	Perdas totais aparentes (%)
0,2727	0,1664	0,3195	0,1899

Após esta análise, apresenta-se a primeira simulação efetuada que representa o caso de falha na linha que faz ligação entre o barramento 2 e o barramento 4. A segunda simulação será referente à falha ocorrida na linha entre os barramentos 3 e 10 (Figura 12).

**Figura 12 - Rede de testes – Falhas simuladas**

4.2.2 SIMULAÇÃO 1

Para verificar e compreender o comportamento da rede em caso de falha, procedeu-se à imposição de uma das linhas que pertence à topologia inicial ótima não se encontrar em serviço. Nesta simulação, a imposição ocorre entre o barramento 2 e o barramento 4. A rede, assumindo a nova restrição imposta, adota uma nova topologia (Figura 13 e Figura 14), tendo em conta a otimização de toda a rede no que se refere aos pontos mencionados na página 62.

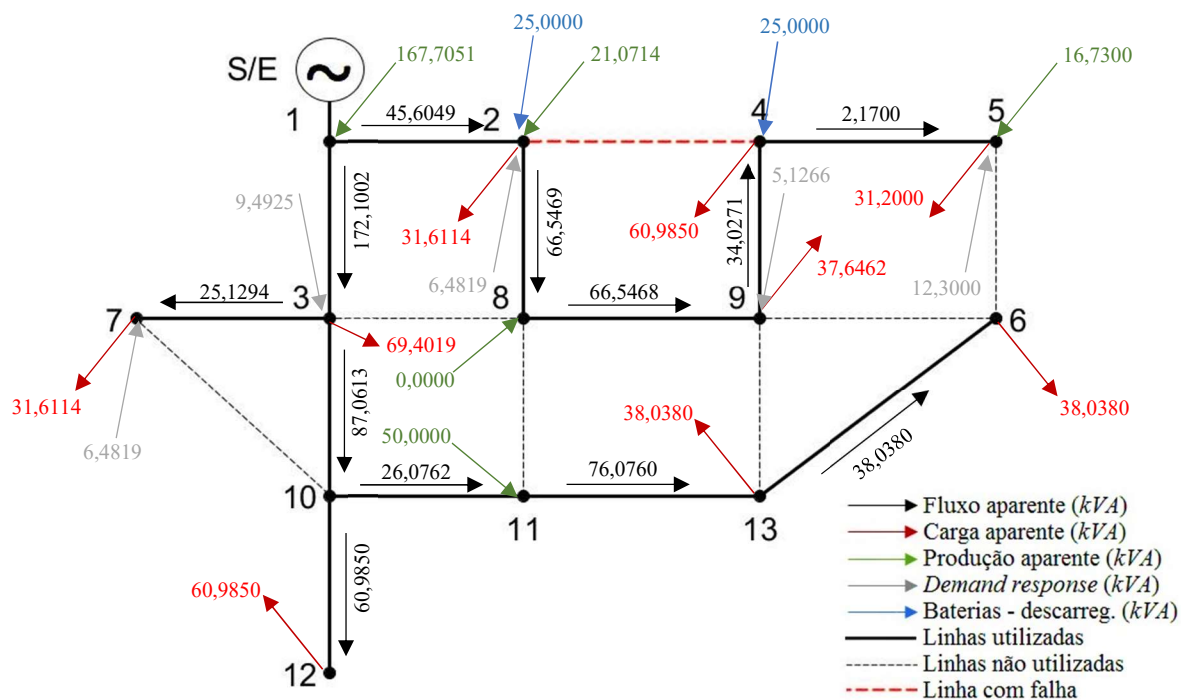


Figura 13 - Rede de testes – Topologia da simulação 1 – TPO linear (“Mestre”)

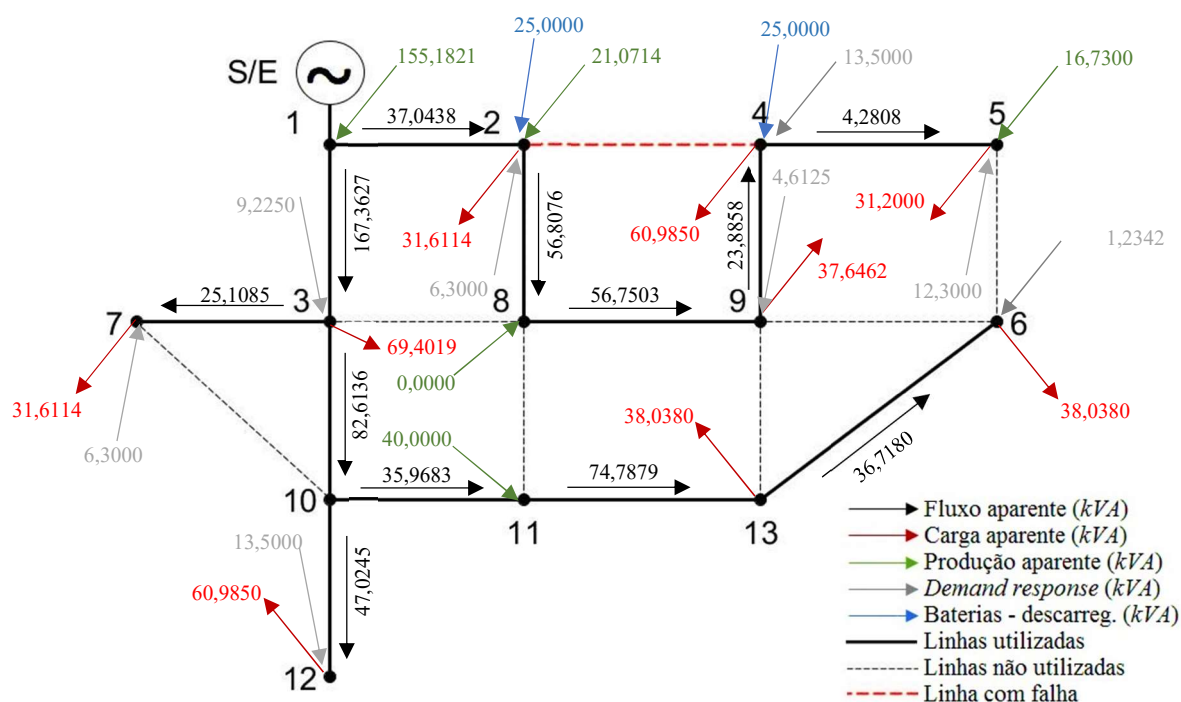


Figura 14 - Rede de testes – Topologia da simulação 1 – TPO-CA (“Escravo”)

Os custos associados a esta nova topologia estão apresentados na Tabela 5. Através da observação da tabela referida, pode-se constatar que houve um aumento no custo da exploração da rede de distribuição com a inclusão da falha na linha que faz ligação entre o barramento 2 e o barramento 4. Pode concluir-se que a otimização está a ser feita de acordo com o esperado e que a reação da rede face a uma contingência é feita sempre tendo em conta todas as variáveis e a minimização dos custos associados às mesmas.

Tabela 5 - Rede de testes – Custos – Simulação 1

		Custos (€)							
		<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Inicial	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3489	347,2293
	Escravo	267,5726	0,0000	101,2227	0,0000	45,0000	0,0000	0,5270	414,3223
Falha 2-4	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,4585	347,3389
	Escravo	267,5987	0,0000	101,3281	0,0000	45,0000	0,0000	0,6399	414,5667

No que se refere às perdas totais da rede, como esperado, estas também sofreram um aumento, representado na Tabela 6.

Tabela 6 - Rede de testes – Perdas totais – Simulação 1

	Perdas totais ativas (kW)	Perdas totais reativas (kvar)	Perdas totais aparentes (kVA)	Perdas totais aparentes (%)
Inicial	0,2727	0,1664	0,3195	0,1899
Falha 2-4	0,3097	0,1996	0,3684	0,2306

Os alimentadores sofreram alterações ligeiras devido à contingência ocorrida na rede, cujos novos valores de produção e de trânsito de energia efetuado por estes se encontram na Tabela 7. Podem ser verificados os aumentos de produção no subproblema “escravo” face à topologia inicial, devido ao aumento de perdas na rede, ou seja, torna-se necessário produzir para colmatar o aumento de perdas totais da rede. No caso do subproblema “mestre” a produção mantém-se porque as perdas não são consideradas no modelo.

No que se refere ao trânsito efetuado nos alimentadores, observa-se que com a falha de linha entre os barramentos 2 e 4, o trânsito é distribuído para a restante rede de forma desigual e houve uma diminuição de trânsito no alimentador B1-B2 (entre os barramentos 1 e 2) e um aumento de potência transitada no alimentador B1-B3 (entre os barramentos 1 e 3), como forma de compensação face à contingência.

Tabela 7 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 1

Alimentador	Inicial		Falha 2-4	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
Produção (kVA)	167,7051	155,1754	167,7051	155,1821
Mercado a prazo (kVA)	50,0000	50,0000	50,0000	50,0000
Trânsito aparente B1-B2 (kVA)	75,8090	73,0903	45,6049	37,0438
Trânsito aparente B1-B3 (kVA)	141,8961	132,1199	172,1002	167,3627

Apesar das alterações na rede, como se pode observar no apêndice A.1.6.7, o *software* desenvolvido obriga a que a rede se mantenha dentro dos limites técnicos estabelecidos. O valor mais baixo atingido de tensão nos barramentos, como na topologia inicial, encontra-se no fim de linha que termina no barramento 6, com 0,1893 % abaixo da tensão nominal da rede, como demonstrado na Figura 15. Nos barramentos 4 e 5 também se revelaram quedas de tensão vigorosas, uma vez que se encontram na zona onde a falha ocorreu, no entanto encontram-se dentro dos parâmetros determinados.

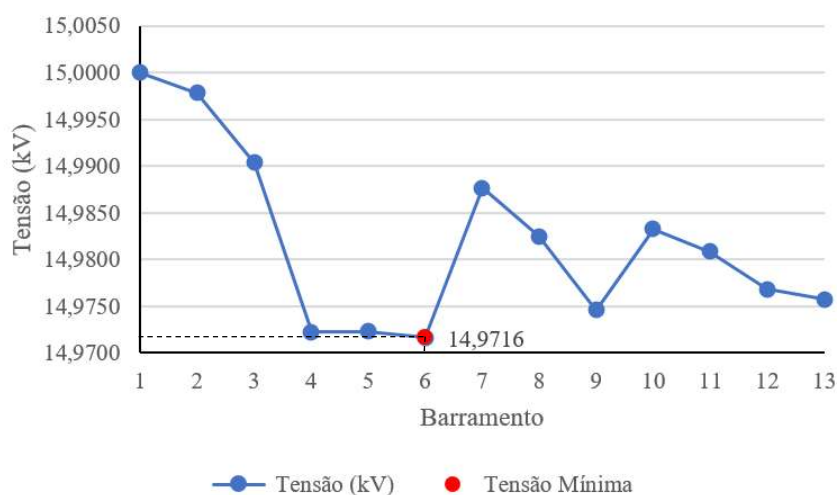


Figura 15 - Rede de testes – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 1

Os restantes resultados da otimização efetuada ao problema, para a topologia referente à simulação 1 da rede de testes, podem ser consultados nos apêndices A.1.6.1 - A.1.6.7.

Para melhor demonstrar a eficácia da metodologia aplicada, segue-se uma nova simulação com uma falha em outra linha pertencente à topologia inicial.

4.2.3 SIMULAÇÃO 2

Para validar a metodologia aplicada apresenta-se uma 2ª simulação, onde foi inserida uma nova restrição ao problema inicial, a imposição de a linha entre o barramento 3 e o barramento 10 se encontrar fora de serviço. Após a operação da rede, a nova topologia adotada encontra-se representada na Figura 16 e na Figura 17.

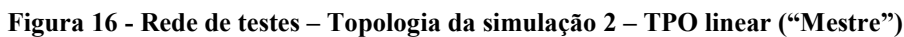


Tabela 8 - Rede de testes – Custos – Simulação 2

		Custos (€)							
		P_{gen}	P_{Exgen}	DR	PNE	$stDsc$	$Market$	$Losses$	Total
Inicial	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3489	347,2293
	Escravo	267,5726	0,0000	101,2227	0,0000	45,0000	0,0000	0,5270	414,3223
Falha 3-10	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3947	347,2751
	Escravo	267,5831	0,0000	101,2809	0,0000	45,0000	0,0000	0,5846	414,4486

Como previsto, os valores dos custos referentes à situação de contingência são superiores à topologia inicial otimizada. Perante a contingência apresentada, a rede comporta-se de forma clara, sempre tendo em conta a minimização dos custos que influenciam a sua exploração.

Em relação às perdas totais da rede, como conjecturado, estas também sofreram um aumento que se pode constatar na Tabela 9.

Tabela 9 - Rede de testes – Perdas totais – Simulação 2

	Perdas totais ativas (kW)	Perdas totais reativas ($kvar$)	Perdas totais aparentes (kVA)	Perdas totais aparentes (%)
Inicial	0,2727	0,1664	0,3195	0,1899
Falha 3-10	0,3016	0,1856	0,3541	0,2107

Na Tabela 10, estão indicadas as produções e os trânsitos de potência nos alimentadores da rede, onde se observam ligeiras diferenças entre o estado inicial e o estado de contingência. Uma vez que o modelo do subproblema “mestre” não contempla as perdas na rede, a sua produção mantém-se estável, porém, como espetável, verifica-se o aumento ténue de produção no subproblema “escravo” devido ao aumento de perdas na rede, o que leva, por sua vez, a um ligeiro aumento da potência transitada nos alimentadores.

Tabela 10 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 2

Alimentador	Inicial		Falha 3-10	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
Produção (kVA)	167,7051	155,1754	167,7051	155,1780
Mercado a prazo (kVA)	50,0000	50,0000	50,0000	50,0000
Trânsito aparente B1 - B2 (kVA)	75,8090	73,0903	75,8090	73,0600
Trânsito aparente B1 - B3 (kVA)	141,8961	132,1199	141,8961	132,1509

No que se refere às tensões nos barramentos, o baixo impacto desta falha na rede, entre o barramento 3 e o barramento 10, mantém-nas praticamente constantes, como se pode

constatar no apêndice A.1.7.7. O barramento 6 mantém-se como aquele que sofre uma maior queda de tensão, neste caso com um valor de 0,2540 % face ao valor de tensão nominal da rede, como se pode observar na Figura 18.

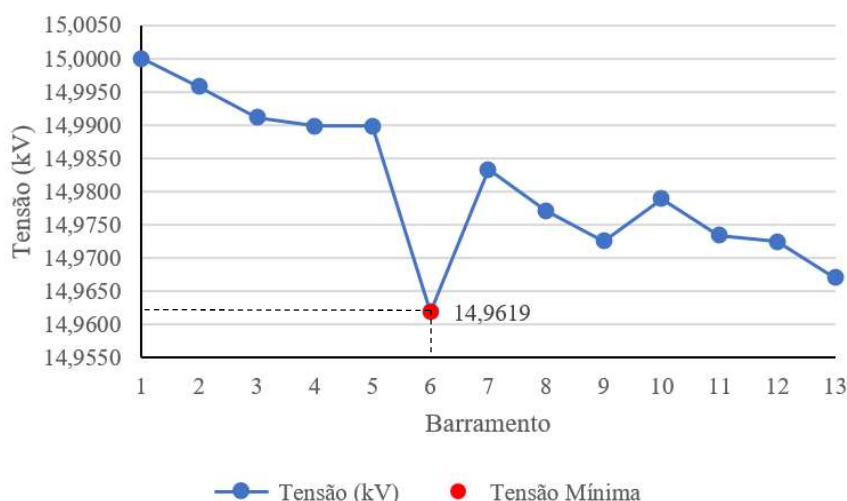


Figura 18 - Rede de testes – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 2

Os restantes resultados da otimização efetuada ao problema, para a topologia referente à simulação 2 da rede de testes, podem ser consultados nos apêndices A.1.7.1 - A.1.7.7.

4.2.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS – ESTADO INICIAL/SIMULAÇÕES

Através da análise dos resultados das diferentes topologias da rede, tanto da topologia inicial como das diferentes falhas simuladas, é possível efetuar uma comparação no que se refere ao custo da função objetivo e das perdas, como também ao peso percentual destas. É constatado o acréscimo de custos totais em caso de falha face ao estado inicial da rede. Na Tabela 11, estão representados os valores referentes à topologia inicial, às simulações 1 e 2 realizadas e apresentadas no presente capítulo e a mais três situações de falha, com o objetivo de demonstrar que, independentemente do local da falha, a rede garante a continuidade de serviço de forma otimizada.

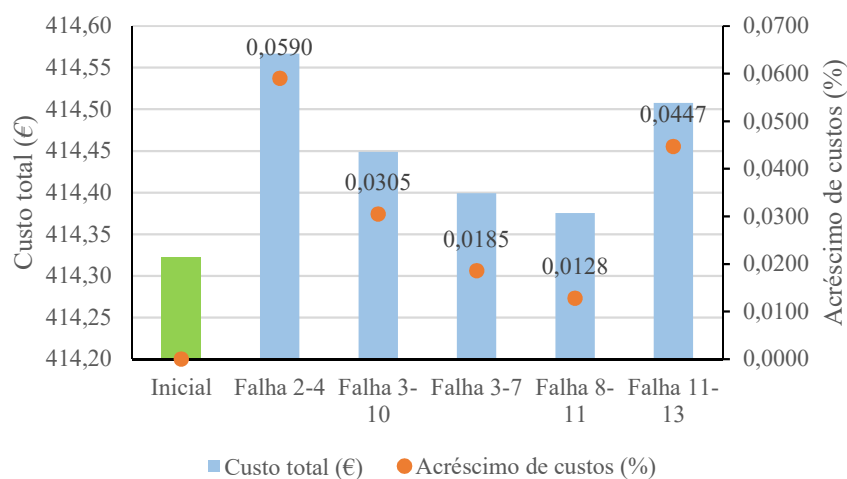
Nesta fase, e por motivos de simplicidade na apresentação de resultados, são exibidos os valores referentes ao subproblema “escravo” uma vez que, tal como referido, é mais aproximado à realidade do problema de operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, sendo estes resultados considerados como valores finais.

Tabela 11 - Rede de testes – Comparações – Estado inicial/Simulações

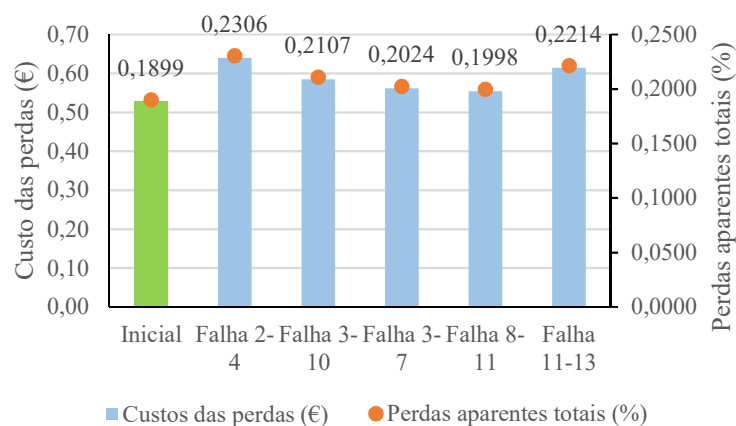
Topologia	Custo total (€)	Custos das perdas (€)	Acréscimo de custos (%)	Perdas aparentes totais (%)	Tempo CPU (s)
Inicial	414,3223	0,5270	---	0,1899	7,8729
Falha 2-4	414,5667	0,6399	0,0590	0,2306	7,8198
Falha 3-10	414,4486	0,5846	0,0305	0,2107	7,8310
Falha 3-7	414,3992	0,5616	0,0185	0,2024	7,8024
Falha 8-11	414,3753	0,5544	0,0128	0,1998	7,8136
Falha 11-13	414,5074	0,6143	0,0447	0,2214	7,8292

Na Tabela 11 evidencia-se o aumento do custo total da exploração da rede em caso de contingência face ao estado inicial desta. O aumento do custo total é também refletido no aumento de perdas verificado na rede.

Nos gráficos da Figura 19, estão demonstradas a diferenças entre os valores acima mencionados.



a) Rede de testes – Custo total – Comparações



b) Rede de testes – Custo das perdas – Comparações

Figura 19 - Rede de testes – Gráficos para comparação de resultados

A presente metodologia encontra-se em pleno funcionamento e, dado o seu baixo tempo de processamento, é adequada para a criação de uma ferramenta que permita efetuar a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*. Estando validada a metodologia apresentada, esta será implementada numa rede real que permitirá, da mesma forma, comprovar que este conceito permite a operação e reconfiguração de qualquer rede, independentemente da grandeza da mesma. Para qualquer contingência, dada a rapidez de processamento, a ferramenta poderá apresentar uma solução num curto intervalo de tempo compatível com os requisitos de operação *online* de uma rede de distribuição de energia elétrica.

4.3 ESTUDOS DE CASO – REDE REAL

A metodologia estudada para a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em contexto de *Smart Grid*, após ter sido testada numa rede de pequena dimensão, foi aplicada numa rede de distribuição real de maior dimensão por forma a verificar a sua validade e adequabilidade em situações reais.

A rede utilizada para validação da metodologia está apresentada na Figura 20 e é uma rede de distribuição real de 30 kV, situada em Portugal, que compreende:

- 1 subestação;
- 180 barramentos;
- 183 linhas de transmissão;
- 116 produtores distribuídos;
- 90 cargas;
- 7 sistemas de armazenamento de energia;
- 5 parques destinados a carregamento de veículos elétricos;
- 1 ligação ao mercado de energia.

No barramento 1 encontra-se a subestação e a ligação ao mercado, a prazo e de ajustes, sendo este considerado o barramento de referência. Para esta rede de distribuição a potência aparente de base é de 1 MVA. Os limites para o módulo das tensões situam-se entre $\pm 5\%$ e os respetivos ângulos têm $-\pi$ e π como limites inferior e superior. Os dados referentes à rede real encontram-se nos anexos A.2.1- A.2.6.

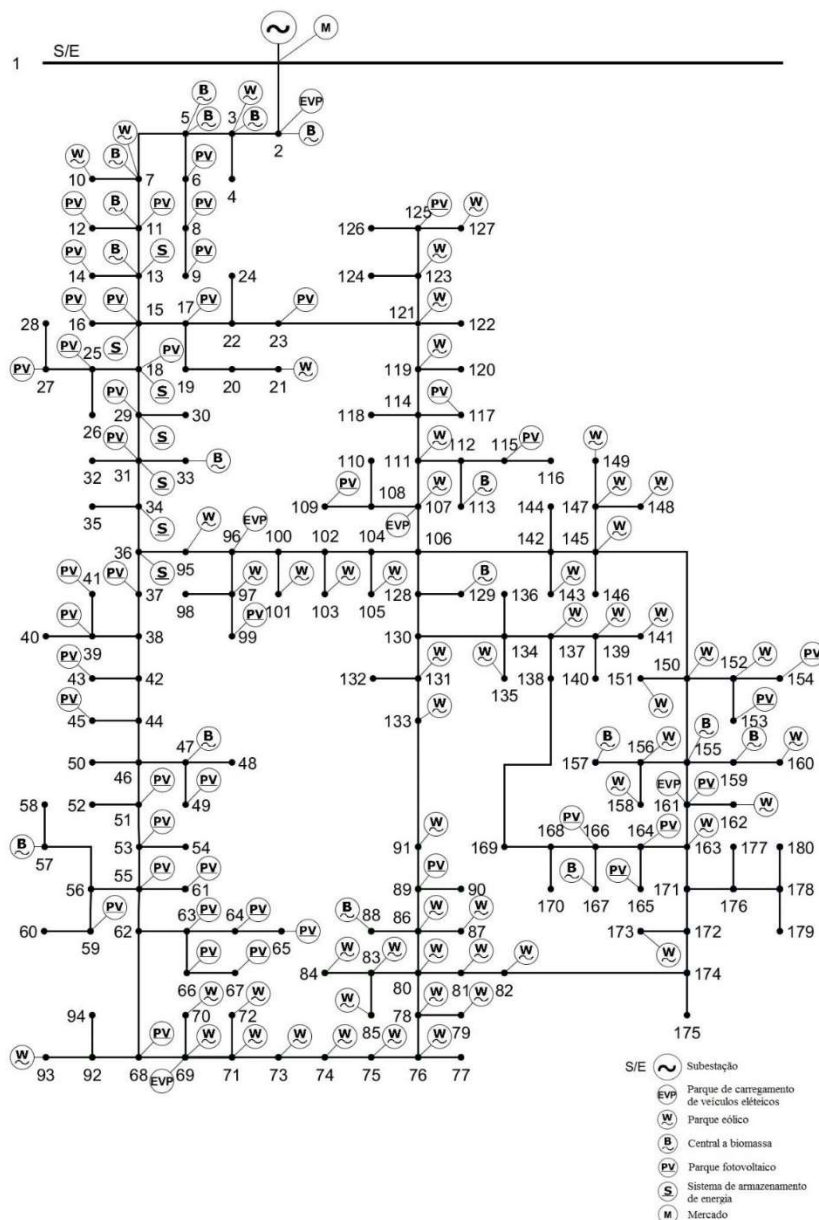


Figura 20 - Rede real – Diagrama unifilar da rede de distribuição

Para efetuar as simulações e verificar a metodologia implementada em contexto real foram escolhidos dois períodos críticos distintos, representados a azul-escuro na Figura 21, sendo a primeira simulação referente às 12 h, período 1, onde é atingido o pico de carga, e a segunda às 20 h, período 2, onde se verifica uma diminuição das produções fixas, isto é, proveniente dos parques eólicos e fotovoltaicos de um dia típico.

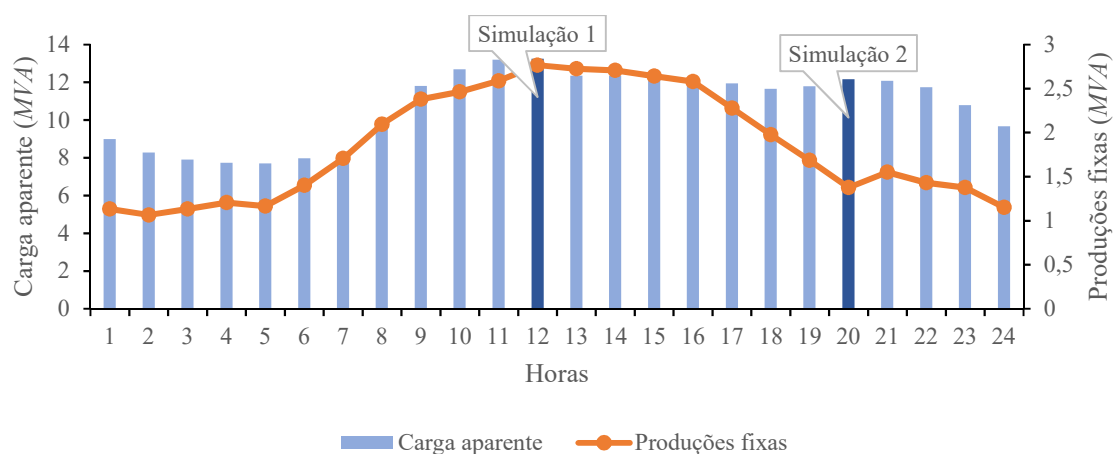


Figura 21 - Diagrama de carga – Dia típico

Relativamente ao tamanho do problema, foram consideradas um total de 97 957 variáveis e 65 442 restrições aplicadas para o subproblema “mestre” e um total de 35 913 variáveis e 825 restrições aplicadas ao subproblema “escravo”, sendo o tempo de processamento total aproximadamente 15 segundos.

4.3.1 TOPOLOGIA INICIAL – PERÍODO 1 (12 H)

Analogamente à abordagem efetuada na rede de testes, foi verificada qual a topologia inicial otimizada para a rede de distribuição real com o objetivo de, posteriormente, provocar falhas na rede e observar o comportamento desta face a determinadas contingências.

O estado inicial da rede para as 12 h está refletido na Figura 22 onde é apresentada a topologia inicial considerada e a falha que irá ser imposta em caso de contingência da rede.

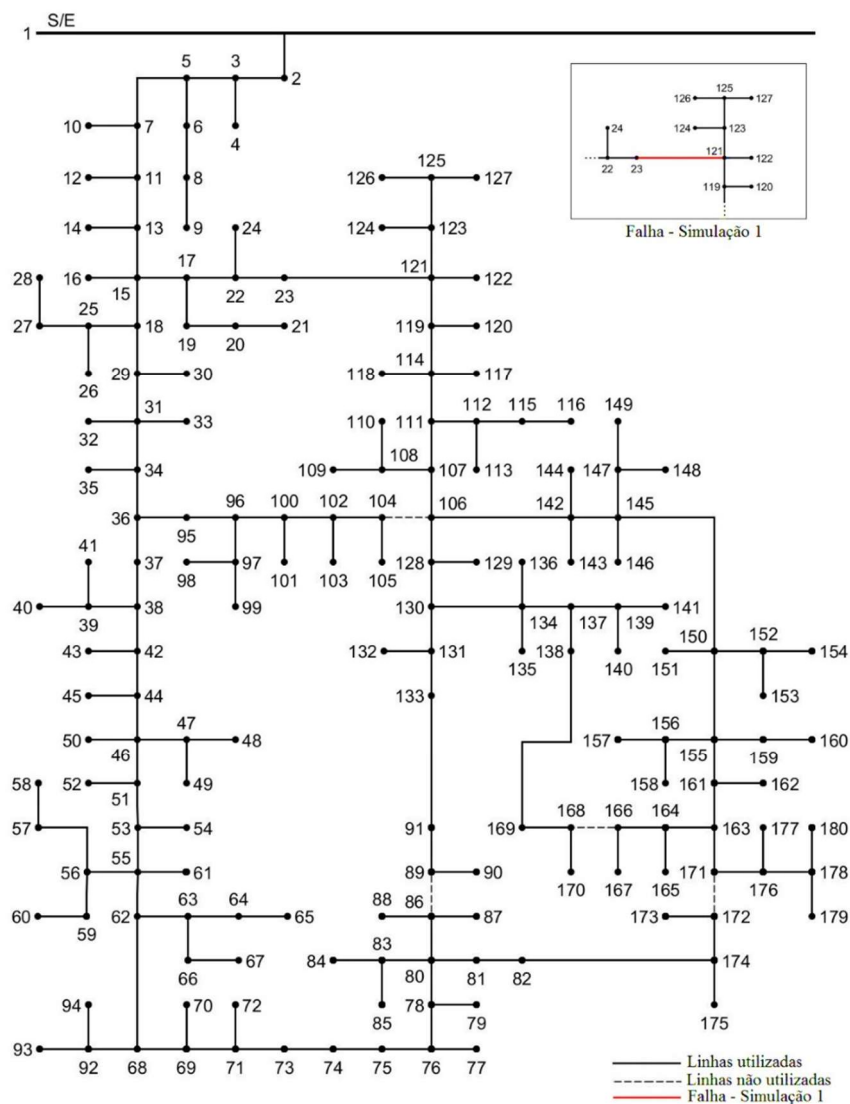


Figura 22 - Rede real – Topologia inicial – Período 1

Todas as otimizações efetuadas, para a determinação do estado inicial da rede e para as restantes simulações de falha, têm em consideração a função objetivo expressa em 3.7.1 e 3.8.1 e estão sujeitas às restrições apresentadas em 3.7.2 e 3.8.2, para os subproblemas “mestre” e “escravo”, respetivamente.

Como se pode observar, na Figura 22, a rede encontrava-se emalhada e, com a otimização efetuada, procedeu-se à desativação de quatro linhas, com o objetivo de a exploração da rede ser efetuada de forma radial com o menor custo possível, mantendo-a sempre de acordo com os requisitos técnicos especificados.

As linhas que não se encontram em utilização estão representadas na Tabela 12. De notar que, considerando que as linhas podem suportar os dois sentidos do trânsito de potências,

por exemplo, a linha entre os barramentos 86 e 89 encontra-se desativada, como também o seu sentido inverso, isto é, entre os barramentos 89 e 86.

Tabela 12 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Topo. Inicial (P.1)

Barramento de saída	Barramento de chegada
86	89
104	106
166	168
171	172

Os custos referentes ao estado inicial da rede no período 1, 12 h, apresentados na Tabela 13, são considerados de referência para posteriores comparações com as falhas simuladas.

Tabela 13 - Rede real – Custos – Topologia inicial (P. 1)

Custos (€)								
Subproblema	P_{gen}	P_{Exgen}	DR	PNE	$stDsc$	$Market$	$Losses$	Total
Mestre	954,7557	0,0000	577,7149	0,0000	108,0000	0,0000	4,5947	1645,0654
Escravo	1544,5320	0,0000	619,5954	0,0000	108,0000	0,0000	15,7187	2287,8461

Como observado na Tabela 13, existe uma discrepância entre os custos de cada subproblema. Esta diferença, tal como referido para a rede de testes, é devida ao facto de o subproblema “mestre” ser um modelo aproximado e o subproblema “escravo” ter uma maior precisão. Assim sendo, este último pode ser considerado como o custo real para o problema apresentado.

No que se refere às perdas da rede, estas correspondem a 1,2842 % da totalidade das produções da rede, estando discriminados os diferentes tipos de perdas, ativas, reativas e aparentes, na Tabela 14.

Tabela 14 - Rede real – Perdas totais – Topologia Inicial (P. 1)

Perdas totais ativas (kW)	Perdas totais reativas ($kvar$)	Perdas totais aparentes (kVA)	Perdas totais aparentes (%)
49,4876	81,5014	95,3493	1,2842

Nesta rede existe apenas um alimentador, situado no barramento 1 com ligação ao barramento 2, estando os valores de produção e valores transitados para a restante rede expressos na Tabela 15.

Tabela 15 - Rede real – Alimentadores – Topologia inicial (P. 1)

Alimentador	Mestre	Escravo
Produção (MVA)	2,0000	3,5847
Mercado a prazo (MVA)	2,0000	2,0000
Trânsito B1 - B2 (MVA)	4,0000	4,9850

No que se refere às tensões, é conjecturável que, apesar da inserção da PD, o barramento mais afastado da subestação seja aquele que tenha um valor de tensão inferior, devido à queda de tensão existente nas linhas. Neste caso, o barramento 179, com 29,4038 kV, é aquele que se encontra com um valor inferior de tensão, estando 1,9873 % abaixo do valor da tensão nominal da rede, seguido pelo barramento 180, com 29,4044 kV, o que corresponde a uma tensão inferior à nominal em 1,9851 %, como se pode observar na Figura 23.

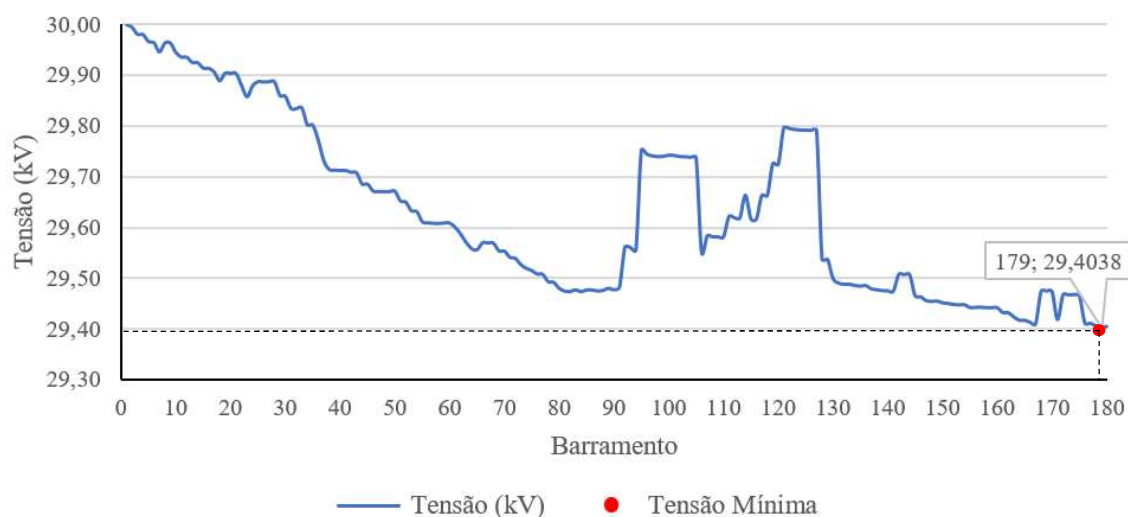


Figura 23 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Topologia inicial (P.1)

Os restantes resultados da otimização efetuada ao problema, para a topologia inicial da rede real no período 1, podem ser consultados no apêndice A.1.5.7.

De seguida, apresenta-se uma simulação de falha correspondente ao período especificado – 12 h.

4.3.2 SIMULAÇÃO 1 – PERÍODO 1 (12 h)

A simulação efetuada refere-se ao caso de falha existente entre o barramento 23 e o barramento 121, pertencente à topologia do estado inicial da rede. Assim sendo, com a otimização da rede face à contingência, obtemos uma nova solução correspondente a uma nova topologia da rede de distribuição, representada na Figura 24.

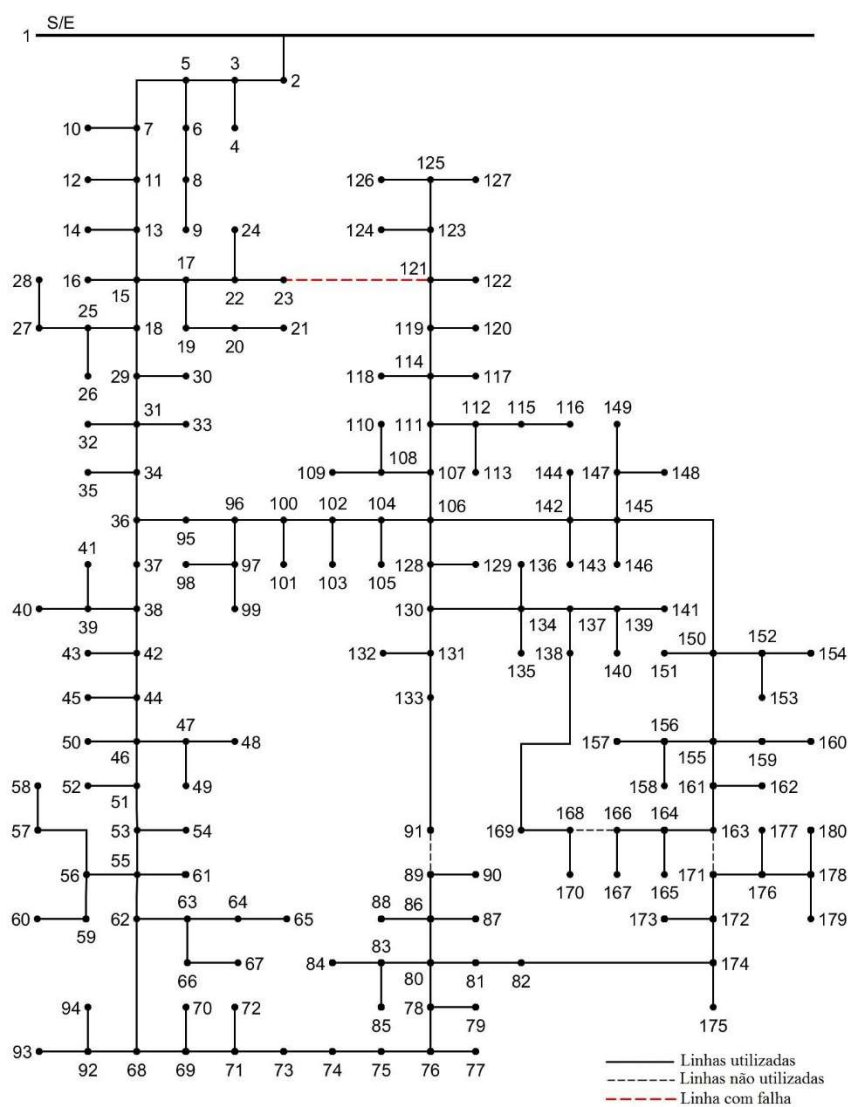


Figura 24 - Rede real – Topologia da simulação 1

Com esta nova topologia, a rede mantém-se explorada radialmente, mas o trânsito de energia seleciona outro percurso para efetuar a alimentação das cargas. As linhas que se encontram

desativadas na simulação 1, às 12 h, encontram-se expressas na Tabela 16, sendo a primeira linha referente à falha ocorrida na rede, entre os barramentos 23 e 121.

Todas as linhas desta rede de distribuição suportam os dois sentidos do trânsito de potências, pelo que as linhas desativadas, expressas na Tabela 16, representam também o seu sentido inverso.

Tabela 16 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Simulação 1 (P. 1)

Barramento de saída	Barramento de chegada
23	121
89	91
166	168
163	171

Com esta nova topologia e trajeto selecionado para ser efetuado o novo TPO, os custos otimizados referentes à nova topologia estão apresentados na Tabela 17. Como se pode verificar, existe um aumento dos custos gerais para a exploração da rede de distribuição em caso de falha.

Tabela 17 - Rede real – Custos – Simulação 1 (P. 1)

		Custos (€)							
		<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Inicial	M.	954,7557	0,0000	577,7149	0,0000	108,0000	0,0000	4,5947	1645,0654
	E.	1544,5320	0,0000	619,5954	0,0000	108,0000	0,0000	15,7187	2287,8461
Falha 23-121	M.	954,7557	0,0000	577,7149	0,0000	108,0000	0,0000	5,9026	1646,3733
	E.	1548,7672	0,0000	622,9865	0,0000	108,0000	0,0000	21,1536	2300,9073

Face ao novo estado da rede, as suas perdas sofreram um aumento, como se pode observar na Tabela 18. Estas representam 1,7342 % da totalidade das produções da rede.

Tabela 18 - Rede real – Perdas totais – Simulação 1 (P. 1)

	Perdas totais ativas (<i>kW</i>)	Perdas totais reativas (<i>kvar</i>)	Perdas totais aparentes (<i>kVA</i>)	Perdas totais aparentes (%)
Inicial	49,4876	81,5014	95,3493	1,2842
Falha 23-121	65,2970	110,9827	128,7666	1,7342

No que diz respeito ao alimentador, verifica-se, na Tabela 19, um aumento na produção aquando da contingência simulada. O aumento das perdas da rede fundamenta este aumento de produção necessário para colmatar a mudança de topologia face ao estado inicial da rede.

Tabela 19 - Rede real – Alimentador – Simulação 1 (P. 1)

Alimentador	Inicial		Falha 23-121	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
Produção (MVA)	2,0000	3,5851	2,0000	3,6056
Mercado a prazo (MVA)	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
Trânsito B1 - B2 (MVA)	4,0000	4,9931	4,0000	5,0001

Com esta contingência na rede, verifica-se que existem algumas alterações nas tensões dos barramentos, as quais constam no apêndice A.2.8.7. Constatase que, em situação mais desfavorável, está o fim de linha que termina no barramento 167, com uma tensão de 29,2825 kV, 2,3915 % abaixo da tensão nominal, como observável na Figura 25.

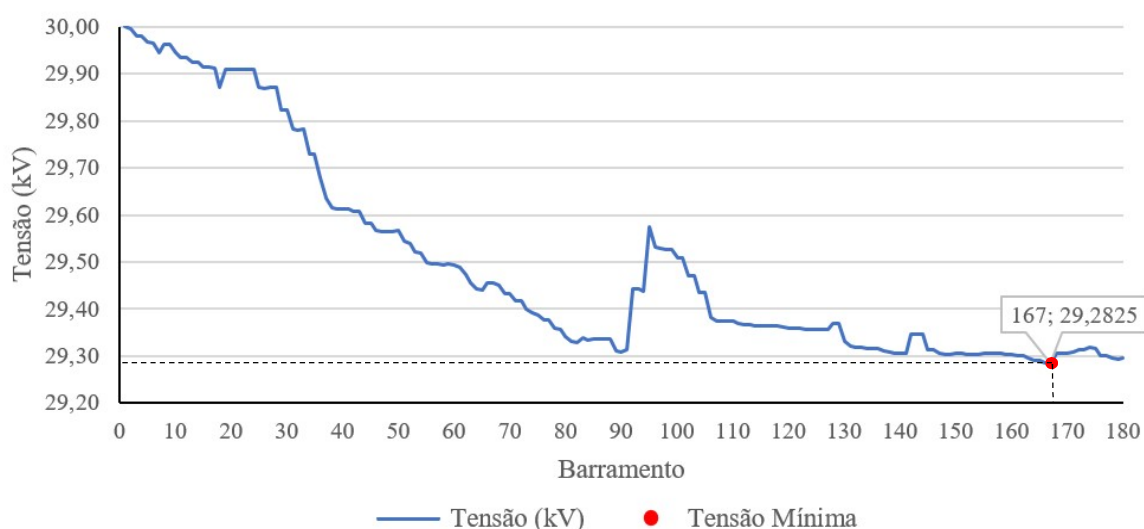


Figura 25 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 1 (P.1)

Todos os resultados provenientes desta simulação podem ser consultados nos apêndices A.2.8.1 - A.2.8.7.

De seguida, para verificar a viabilidade da metodologia adotada em para diferentes estados da rede, apresenta-se a topologia inicial referente ao período 2, 20 h, e a simulação de uma falha ocorrida nesse mesmo período horário.

4.3.3 TOPOLOGIA INICIAL – 20 H

Conforme demonstrado para a rede real no período 1, às 12 h, expõe-se a verificação da metodologia adotada para um período diferente, neste caso para as 20 h de um dia típico. Neste período horário, as produções de energia eólica e fotovoltaica são inferiores e a carga mantém-se muito semelhante ao primeiro período analisado. A nova topologia encontra-se na Figura 26.

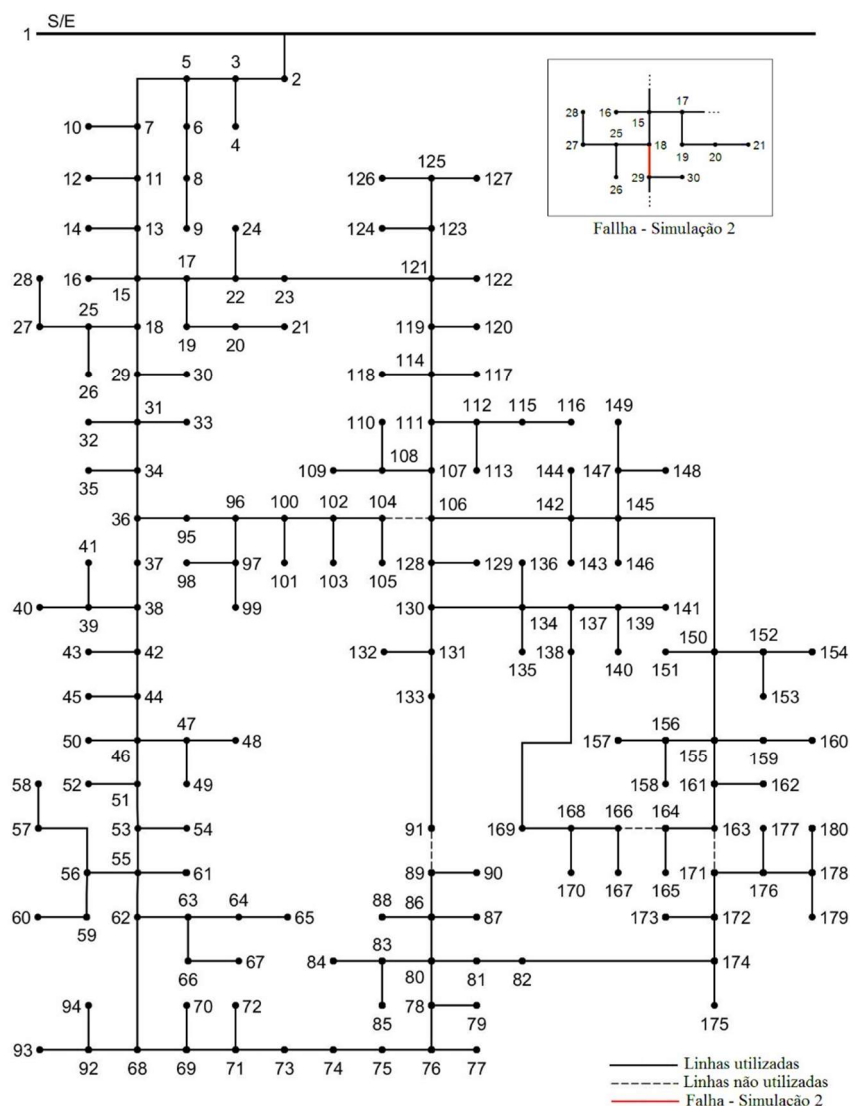


Figura 26 - Rede real – Topologia inicial – Período 2

Nesta situação é apresentada a topologia para o estado inicial da rede de distribuição e uma simulação de uma falha crítica que irá implicar algumas dificuldades na exploração da rede e na alimentação de todas as cargas agregadas. Esta falha foi meticulosamente selecionada para demonstrar que, através da otimização efetuada, em certos casos, a própria rede não permite que todas as cargas sejam alimentadas. No entanto, apesar desta impossibilidade, a otimização permite que a rede alimente o maior número possível de cargas, com o objetivo do equilíbrio entre a oferta e a procura, sempre tendo em conta todos os custos associados e as respetivas restrições técnicas.

Assim, as otimizações efetuadas de acordo com as funções objetivo apresentadas em 3.7.1 e 3.8.1 e as suas correspondentes restrições em 3.7.2 e 3.8.2, para os subproblemas “mestre” e “escravo”, respetivamente, levaram à formulação da nova topologia supra apresentada, Figura 26. Nesta, encontra-se também localizada a falha que será simulada para este período.

Face ao novo horário aplicado, a topologia adotada considera a desativação de quatro linhas para que a exploração da rede seja feita radialmente, tendo em conta todos os custos de exploração associados e os requisitos técnicos necessários para a normal utilização da rede de exploração. As linhas que se encontram fora de serviço estão indicadas na Tabela 20.

Sendo possível o trânsito de potências ocorrer nos dois sentidos, as linhas apresentadas como possibilidades de ligação não realizadas referem-se ao sentido indicado e ao seu sentido inverso.

Tabela 20 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Topo. Inicial (P. 2)

Barramento de saída	Barramento de chegada
89	91
104	106
163	171
164	166

Os custos associados à topologia para este período horário encontram-se na Tabela 21. Como se pode observar, analogamente às outras topologias simuladas anteriormente, não existem quaisquer custos associados ao excesso de potência produzida nem à potência não entregue. Porém, no caso da contingência que será demonstrada na simulação 2, poderá verificar-se

que estas variáveis poderão tomar um valor diferente de zero, devido à falha em questão estar num local estrategicamente selecionado para poder demonstrar esta possibilidade.

Tabela 21 - Rede real – Custos – Topologia inicial (P. 2)

Custos (€)								
Subproblema	P_{gen}	P_{Exgen}	DR	PNE	$stDsc$	$Market$	$Losses$	Total
Mestre	896,1711	0,0000	557,6186	0,0000	108,0000	0,0000	6,0655	1567,8552
Escravo	1280,4813	0,0000	752,6017	0,0000	108,0000	0,0000	17,8919	2158,9749

Relativamente às perdas existentes na rede, estas estão patentes na Tabela 22 e correspondem a 1,4619 % da totalidade de produções na rede.

Tabela 22 - Rede real – Perdas totais – Topologia Inicial (P. 2)

Perdas totais ativas (kW)	Perdas totais reativas ($kvar$)	Perdas totais aparentes (kVA)	Perdas totais aparentes (%)
56,2995	92,7993	108,5419	1,4619

Na Tabela 23 podem ser observados os valores referentes ao trânsito de potência do alimentador e a sua respetiva produção.

Tabela 23 - Rede real – Alimentadores – Topologia inicial (P. 2)

Alimentador	Mestre	Escravo
Produção (MVA)	4,2248	4,6491
Mercado a prazo (MVA)	2,0000	2,0000
Trânsito B1 - B2 (MVA)	6,2248	6,2725

Tal como verificado na análise do período 1, às 12 h, neste período (20 h) o barramento com a tensão mais desfavorável mantém-se aquele que se encontra mais afastado da subestação, apesar da forte inserção da PD na rede em questão. Dessa forma, o barramento 179 encontra-se sujeito a uma tensão no valor de 29,3981 kV, 2,0063 % abaixo do valor nominal da tensão na rede, como se pode observar na Figura 27. Apesar desta diferença atingir os 2 % do valor nominal, ainda se encontra dentro dos requisitos previstos impostos pela ferramenta desenvolvida, no que se refere à tensão nos barramentos (± 5 %) e às restantes restrições técnicas.

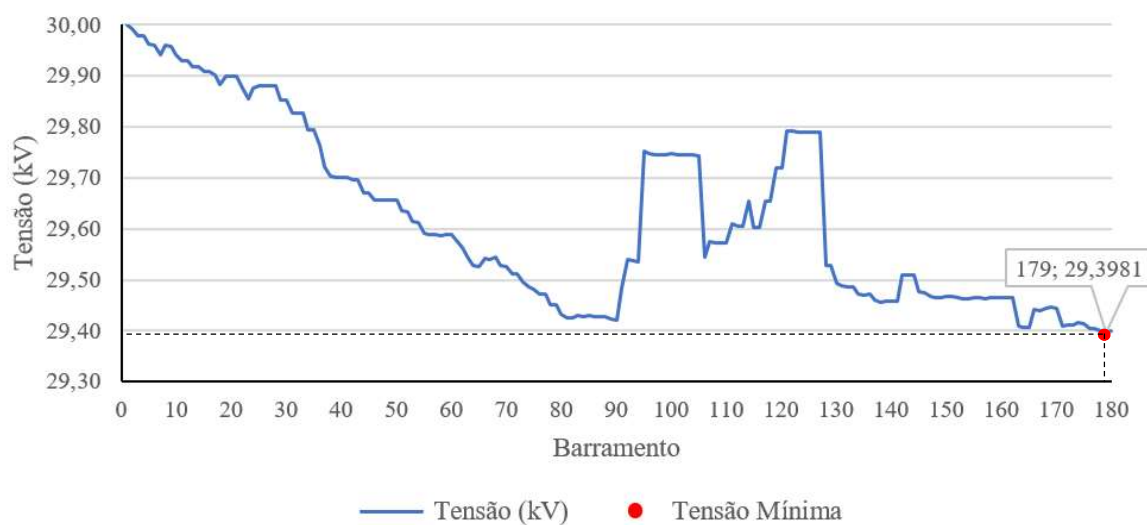


Figura 27 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Topologia inicial (P.2)

Os restantes resultados da otimização efetuada ao problema, para a topologia inicial da rede real no período 2, podem ser consultados nos apêndices A.2.9.1 - A.2.9.7 .

Para melhor percepção do funcionamento da rede, no próximo ponto será apresentada a simulação de uma falha numa linha crítica, situada entre os barramentos 15 e 18, para este período horário.

4.3.4 SIMULAÇÃO 2 – PERÍODO 2 (20 H)

Neste período foi causada uma falha na rede de distribuição entre os barramentos 15 e 18, o que provocou algumas alterações e complicações na rede. A otimização efetuada permitiu que a rede, apesar da contingência, apresentasse a melhor solução face aos obstáculos impostos pela falha. Assim, a topologia adotada para esta situação encontra-se na Figura 28.

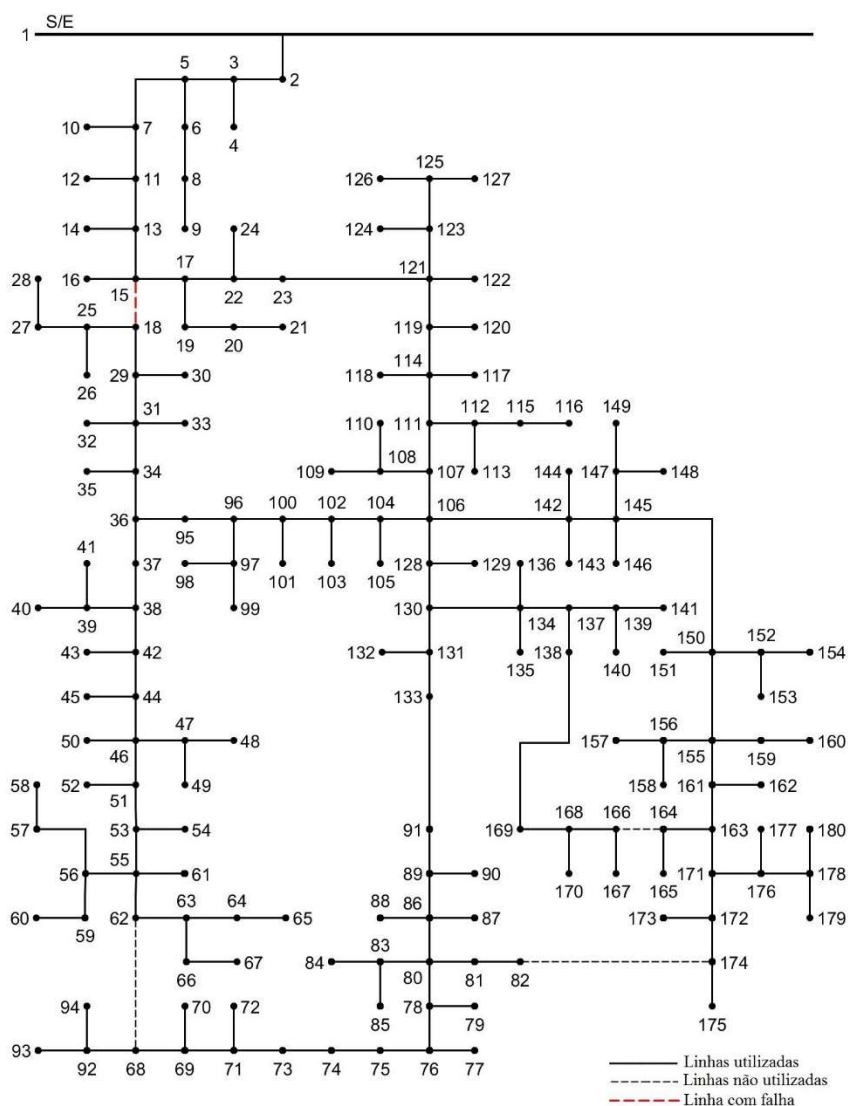


Figura 28 - Rede real – Topologia da simulação 2

A exploração da rede mantém-se radial e, para isso, encontram-se fora de serviço as quatro linhas expressas na Tabela 24.

Tabela 24 - Rede real – Possibilidades de ligação não realizadas – Simulação 2 (P. 2)

Barramento de saída	Barramento de chegada
15	18
62	68
82	174
164	166

Para a esta topologia, os custos iniciais estão apresentados na Tabela 25. Estes custos serão considerados de referência para as posteriores comparações efetuadas com as diferentes simulações realizadas.

Tabela 25 - Rede real – Custos – Simulação 2 (P. 2)

		Custos (€)							
		<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Inicial	M.	896,1711	0,0000	557,6186	0,0000	108,0000	0,0000	6,0655	1567,8552
	E.	1280,4813	0,0000	752,6017	0,0000	108,0000	0,0000	17,8919	2158,9749
Falha 15-18	M.	917,5232	0,0000	578,7047	0,0000	84,7809	0,0000	17,3686	1598,3774
	E.	1291,7697	0,0000	799,1164	932,1065	71,7890	0,0000	48,9834	3143,7651

Tal como referido anteriormente, esta falha causada na rede de distribuição é considerada crítica uma vez que, perante a sua localização, torna-se extremamente complicada a alimentação de algumas cargas devido ao seu carácter reativo. Consequentemente, a carga do barramento 65 (0,7423 MVA) ficou parcialmente sem alimentação, como demonstrado na Tabela 26. Este barramento é considerado o mais desfavorável relativamente à tensão, estando com 28,500 kV como representado na Figura 29, atingindo assim o limite mínimo do módulo tensão, com 5,000 % abaixo do valor da tensão nominal. O seu ângulo é o valor mínimo encontrado face aos restantes barramentos. Os resultados do módulo e ângulo das tensões encontram-se no apêndice A.2.9.7.

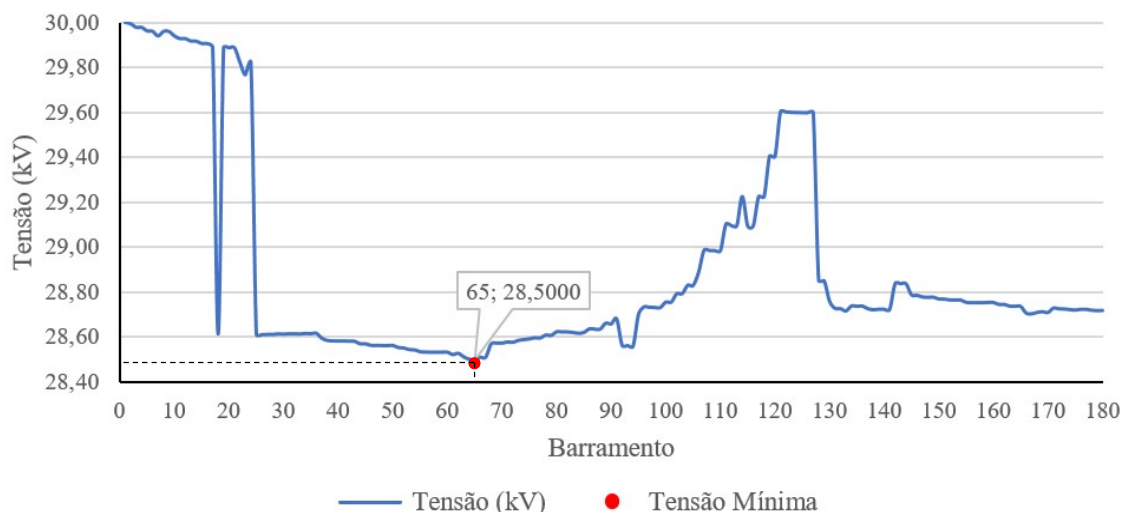


Figura 29 - Rede real – Gráfico das tensões nos barramentos – Simulação 2

O barramento 18 também sofreu um pico de diminuição no que se refere à tensão, uma vez que, sendo a falha entre os barramentos 15 e 18, este último encontra-se dentro da zona da rede considerada crítica. Não obstante, os valores encontram-se dentro dos limites impostos.

A descarga das baterias para armazenamento de energia também sofre alterações em situação de falha, havendo uma redução da descarga das baterias que se encontram na zona mais afetada pela falha crítica (barramentos 18, 29, 31 e 34). Nos restantes barramentos onde existem sistemas de armazenamento de energia (13, 15 e 36) o valor de descarga mantém-se face à topologia inicial obtida.

Verifica-se que no subproblema “mestre” não existe potência não entregue. Este facto deve-se ao método adotado, uma vez que este não considera o módulo das tensões nos barramentos nem o seu respetivo ângulo, como exposto no subtópico 3.7.2.

O problema observado poderia ter sido contornado com a inserção de baterias de condensadores na zona afetada ou por meio da instalação de unidades produtoras, a partir de biomassa, que também permite a produção e injeção de potência reativa na rede de distribuição, porém não se encontra dentro do âmbito da presente dissertação. Os perfis de tensão dos barramentos também poderiam ter sido melhorados, trazendo benefícios para a rede e para a qualidade da energia elétrica entregue.

Tabela 26 - Rede real – Potência não entregue na simulação 2 (P. 2)

Barramento	Inicial (<i>MVA</i>)		Falha 15-18 (<i>MVA</i>)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
65	0,0000	0,0000	0,0000	0,2390

Relativamente às perdas do sistema, estas são bastante superiores à topologia inicial. Tratando-se de uma falha numa zona crítica, como esperado, as perdas sofreram um aumento acentuado, sendo, no entanto, as mais baixas possíveis face à contingência na rede em questão.

Tabela 27 - Rede real – Perdas totais – Simulação 2 (P. 2)

	Perdas totais ativas (<i>kW</i>)	Perdas totais reativas (<i>kvar</i>)	Perdas totais aparentes (<i>kVA</i>)	Perdas totais aparentes (%)
Inicial	49,4876	81,5014	95,3493	1,4619
Falha 15-18	160,9581	247,2371	295,0148	5,0915

O alimentador, apesar de não fornecer totalmente a carga do barramento 65, sofre um aumento na sua produção para contrabalançar as perdas obtidas ao longo da rede e, por conseguinte, o trânsito entre os barramentos 1 e 2 aumenta também.

Tabela 28 - Rede real – Alimentador – Simulação 2 (P. 2)

Alimentador	Inicial				Falha 15-18			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)	S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
Produção	4,2248	3,4325	3,1357	4,6491	4,3550	3,4836	3,1534	4,6989
Trânsito B1 - B2	6,2248	5,4325	3,1357	6,2725	6,3550	5,4836	3,1534	6,3256

Se a topologia adotada perante esta contingência, fosse efetuada sem a presente otimização, ou seja, em situações normais de funcionamento atualmente implementadas em Portugal, a rede teria outro comportamento – o deslastre de diversas cargas. Esta metodologia, como provado, tem em conta todos os fatores relevantes da rede permitindo que seja assegurada a exploração da rede do modo mais económico e tecnicamente viável. O custo para a PNE é de valor elevado, face aos restantes custos, pelo que a rede apenas deixa de fornecer energia em casos extremamente excecionais.

A metodologia empregue contempla a decomposição de Benders que, sendo um processo iterativo, em caso de violação de alguma restrição no subproblema “escravo” volta ao

subproblema “mestre” para alterar as configurações da rede e assim obter uma nova topologia que permita efetuar a sua exploração do modo mais económico e tecnicamente viável. Este processo termina aquando da obtenção da solução ótima ou por limite de iterações, que neste caso foi imposto um limite máximo de 30. Neste caso, a simulação parou no final da 1ª iteração, o que nos indica que a solução obtida é a ótima, não havendo qualquer violação de restrições. Desta forma conseguimos saber que, independentemente das topologias que poderiam ser adotadas, a solução seria sempre prior que a apresentada.

4.3.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS – ESTADO INICIAL/SIMULAÇÕES

Na presente secção foram simuladas duas situações, em dois horários distintos, numa das quais se considerou uma falha crítica para o sistema, de forma a demonstrar os resultados da aplicação da metodologia adotada face a diferentes situações de contingência.

Por sua vez, foram ainda feitas algumas simulações extra, para ter uma maior perceção dos diferentes resultados face a mais falhas que poderiam ocorrer na rede. Assim sendo, na Tabela 29 estão os valores referentes às simulações efetuadas para o período 1, às 12 h, e na Tabela 30 os resultados das simulações para o período 2, às 20 h.

Por motivos de simplicidade, todos os resultados são referentes ao subproblema “escravo” devido à exatidão do mesmo face ao subproblema “mestre”.

Tabela 29 - Rede real – Comparações – Estado inicial/Simulações (P. 1)

Topologia	Custo total (€)	Custos das perdas (€)	Acréscimo de custos (%)	Perdas aparentes totais (%)	Tempo CPU (s)
Inicial	2287,8461	15,7481	---	1,2842	14,9652
Falha 23-121	2300,6029	21,2283	0,5576	1,7342	14,2787
Falha 69-71	2294,9090	18,8664	0,3087	1,5339	14,6239
Falha 96-100	2288,4333	16,1645	0,0257	1,3208	13,7985
Falha 142-145	2290,2950	16,9401	0,1070	1,3835	15,1598
Falha 150-155	2291,9800	16,2493	0,1807	1,3424	13,9919

Como se pode observar na tabela, a situação inicial para o período 1 (12 h), tem um custo inferior face às restantes simulações para situações de contingência na rede. O custo total,

tem em grande parte influência do aumento das perdas na rede, uma vez que, em situações de falha estas sofrem aumentos, como se pode observar na Figura 30 e na Figura 31.

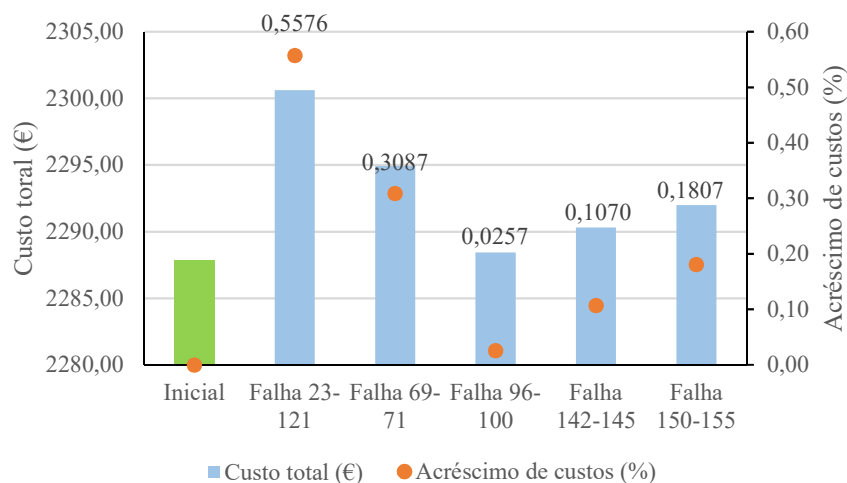


Figura 30 - Rede real – Custo total – Comparações (P. 1)

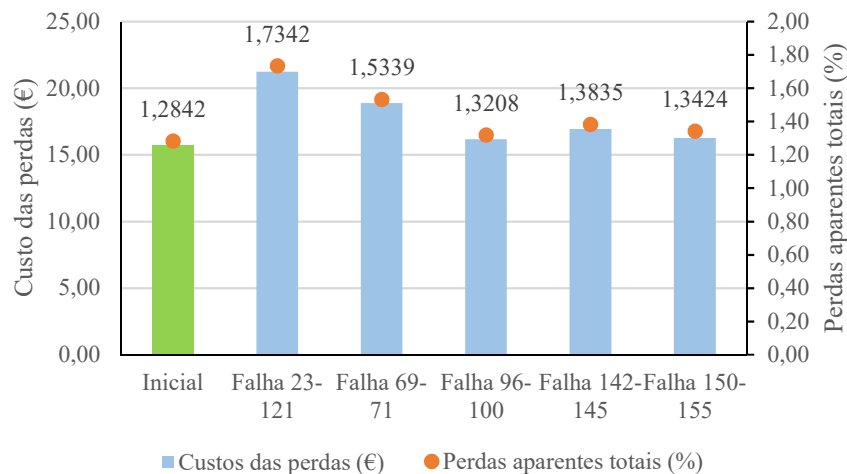


Figura 31 - Rede real – Custo das perdas – Comparações (P. 1)

Os acréscimos de custos totais verificados são inferiores a 1 %, o que reflete a otimização já efetuada para o estado inicial da rede, uma vez que as seguintes otimizações em caso de contingência em pouco diferem da primeira topologia. Assim, pode verificar-se a importância da otimização, uma vez que, mesmo com falhas, a topologia adotada pelo

sistema permite a continuidade de serviço tendo em conta o modo mais económico de o fazer, mantendo os parâmetros técnicos estabelecidos para a rede de distribuição.

No caso do período 2 (20 h), tal como referido anteriormente, foram testadas várias contingências, sendo uma considerada crítica devido à sua localização, de modo a demonstrar o comportamento da rede face a situações mais complexas.

Como se pode observar na Tabela 30, das cinco simulações efetuadas, a falha situada entre os barramentos 15 e 18, é aquela que tem um maior custo total uma vez que se trata de uma situação em que uma das cargas não foi alimentada na sua totalidade devido à sua vertente reativa (ver subcapítulo 4.3.4). Nesta situação, verifica-se um prejuízo na perspetiva das perdas uma vez que estas sofrem um aumento substancial, apresentando um total de 5,0915 % da totalidade das produções da rede. As restantes contingências encontram-se dentro daquilo que seria expectável – ligeiros aumentos de perdas e de custos totais face à topologia inicial da rede de distribuição.

Tabela 30 - Rede real – Comparações – Estado inicial/Simulações (P. 2)

Topologia	Custo total (€)	Custos das perdas (€)	Acréscimo de custos (%)	Perdas aparentes totais (%)	Tempo CPU (s)
Inicial	2158,9749	17,8893	---	1,4619	14,8814
Falha 15-18	3143,7651	48,9833	45,6138	5,0915	14,7862
Falha 96-100	2159,7426	18,2163	0,0356	1,9233	13,7493
Falha 111-114	2169,9380	22,5242	0,5078	2,3769	14,3599
Falha 134-137	2159,9540	18,3035	0,0454	1,9345	14,1754
Falha 145-150	2159,2445	18,0037	0,0125	1,9030	14,9454

De forma a demonstrar as diferenças suprarreferidas, as comparações efetuadas aos custos total e de perdas constam na Figura 32 e na Figura 33, respetivamente.

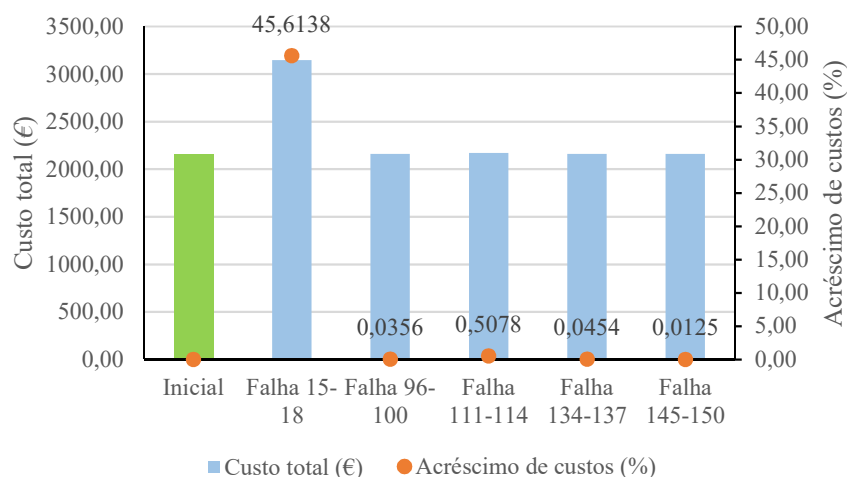


Figura 32 - Rede real – Custo total – Comparações (P. 2)

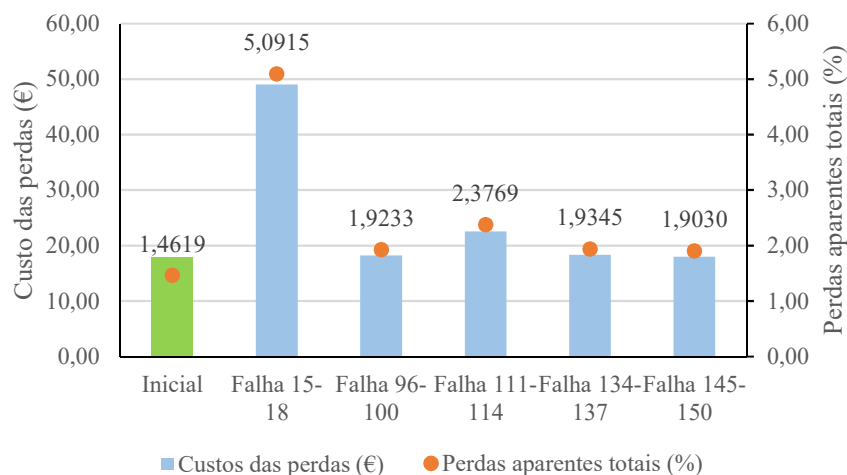


Figura 33 - Rede real – Custo das perdas – Comparações (P. 2)

No que se refere ao acréscimo de custos, apenas na falha entre os barramentos 15 e 18 o valor se encontra deveras elevado, com um aumento de 45,6138 % face ao custo de exploração no estado inicial da rede, sem qualquer contingência. Nas restantes falhas o aumento é ligeiro, abaixo de 1 % face à topologia inicial da rede de distribuição.

Posto isto, é possível verificar que a metodologia apresentada suporta diferentes tipos de redes, em diferentes períodos, permitindo assim a sua adoção em redes reais, com maior ou menor dimensão. As contingências estudadas, sendo díspares, permitem realçar a importância e o funcionamento desta metodologia face às diferentes contingências que podem acontecer nas redes de distribuição. Relativamente aos tempos de processamento, a Tabela 29 e a Tabela 30 refletem a sua ordem de grandeza francamente baixa, inferior a 15

segundos, pelo que esta ferramenta poderá gerar uma solução ótima em intervalos de tempo curtos compatíveis com os requisitos de operação *online* de uma rede de distribuição de energia elétrica. Estes tempos de processamento poderão ser melhorados se a metodologia apresentada for implementada num computador cujas características permitam uma velocidade de processamento superior.

4.4 SUMÁRIO E CONCLUSÕES DOS ESTUDOS DE CASOS

No presente capítulo, foram apresentados os estudos de casos desenvolvidos para a validação da metodologia para a operação e reconfiguração de uma rede de distribuição, os quais se basearam em duas redes, uma de testes com 13 barramentos e outra real com 180 barramentos.

A metodologia concebida visa a otimização da rede de distribuição no que concerne a diversas variáveis imprescindíveis para o bom funcionamento da rede, quer a nível técnico quer económico. Para isso, as redes em questão foram otimizadas com vista a obter o seu estado inicial, para posteriormente implementar falhas em linhas que se encontravam em funcionamento e verificar o comportamento da rede face a essas contingências, sem que houvesse qualquer tipo de investimento na rede.

Após os testes efetuados na rede, verifica-se que a metodologia adotada suporta diferentes redes, independentemente da sua grandeza e topologia, o que constitui uma grande vantagem pois permite a sua aplicação em qualquer rede de distribuição. Assim, a ferramenta desenvolvida, com baixos tempos de processamento, tem potencialidade para ser integrada numa ferramenta informática que auxilie a tomada de decisão na operação e reconfiguração de redes de distribuição em MT, quando estas se encontram perante avarias nas suas linhas.

Foram analisadas diferentes simulações na rede de testes e na rede real, com o objetivo de revelar a adequação e robustez da metodologia implementada, bem como o reduzido tempo de processamento para a obtenção de uma solução ótima. Verificou-se, também, que nenhum dos casos testados, tanto na rede de testes como na rede real, chegou a entrar no processo dos cortes lineares de Benders, terminando na sua 1ª iteração, com sucesso (precisão de 10^{-8}). Com os testes efetuados, em diferentes períodos temporais e em localizações díspares, foi possível verificar que o método adotado tem a capacidade de fornecer uma solução técnico-económica ótima face a diversas contingências.

5. CONCLUSÃO

Neste último capítulo são apresentadas as principais conclusões da dissertação realizada bem como de todo o trabalho inerente à mesma. Por último, são referidos os principais contributos deste trabalho e são dadas algumas indicações sobre trabalhos futuros que possam ser realizados neste âmbito e na sequência do desenvolvimento deste trabalho.

5.1 CONCLUSÕES FINAIS

O conceito de distribuição de energia elétrica, desde os primórdios da sua existência, foi alvo de inúmeras investigações, por parte de muitos intervenientes, tendo não só em conta a distribuição, mas também a ela associada os conceitos de produção e transporte. Estes conceitos são de extrema importância, dada a dependência energética que existe atualmente. Neste sentido, e de forma a melhorar o desempenho das redes existentes, o desenvolvimento nesta área tem um papel importante, principalmente devido à adequação das infraestruturas ao tipo de utilização que é feita atualmente. A inserção de unidades de PD está cada vez mais presente na realidade atual e não deve passar despercebida uma vez que provoca inúmeras alterações na rede, quer na sua vertente técnica, quer na sua vertente económica. É neste contexto que trabalhos nesta área têm sido desenvolvidos por forma a conseguir encontrar o

equilíbrio que permita contribuir para a melhoria, segurança e economia dos sistemas elétricos de energia em geral.

A dissertação desenvolvida tem como objetivo, para além de prestar um contributo à área da investigação nos SEE, dar a conhecer um conceito ainda pouco explorado e, de certa forma, visionário, uma vez que se encontra um pouco adiante da realidade atual, onde as *Smart Grid's* ainda não se encontram totalmente implementadas. A operação e reconfiguração de redes de distribuição em MT, fortemente abrangidas por PD e por outras tecnologias, como os parques destinados ao carregamento de veículos elétricos e os sistemas de armazenamento de energia, atualmente com um impacto muito reduzido nas redes de distribuição em MT, foi desenvolvida na presente dissertação, através de um método determinístico, e consequentemente, um método exato que reflete a realidade da operação e reconfiguração de redes em contexto de *Smart Grid*.

A metodologia apresentada permite auxiliar os operadores de rede na tomada de decisão, com a informação necessária para efetuarem a operação de uma rede de distribuição aquando de uma falha de uma linha da rede. Este modelo, para além das situações de contingência, poderá auxiliar em caso de manobras programadas na rede, isto é, aquando de manutenções preventivas, manobras que permitam a expansão da rede, ou outro tipo de situações que necessitem de retirar de serviço alguma das linhas que estejam a ser utilizadas em estado normal da rede. Assim, pela metodologia adotada, qualquer reconfiguração que seja necessária, por motivos preventivos ou curativos, é feita tendo em conta todos os requisitos técnicos e o seu custo de operação e exploração, podendo assim permitir que a operação e ou reconfiguração sejam feitas de forma ótima e minimizando os respetivos custos.

A metodologia proposta foi testada numa rede de pequena dimensão, de 13 barramentos, e posteriormente aplicada numa situação real, uma rede de maior dimensão, com 180 barramentos. Esta última é uma rede real, com elevado grau de penetração de PD, e permite perceber o conceito de *Smart Grid*, uma vez que, toda a sua coordenação, em função das cargas existentes para os diferentes momentos analisados, possibilita que seja feita a gestão da totalidade da rede, de forma automatizada, sem prejuízo da responsabilidade do operador que esteja a fazer utilização do *software* onde esta metodologia esteja inserida. Assim, verificou-se que esta metodologia é adequada e robusta para integrar ferramentas na área da gestão da rede de distribuição, dada a sua exatidão e o escasso tempo de processamento. Porém, existem algumas limitações que poderão ser ultrapassadas através de melhorias

aplicadas à metodologia, por exemplo a introdução de dados referentes aos tempos necessários para reparação das linhas e que estes se encontram fora de serviço, de forma a obter a topologia ótima para os diferentes períodos, tendo em conta todos os restantes recursos e cargas afetas. Outros trabalhos poderão ser desenvolvidos, no âmbito da dissertação, para melhoria da metodologia, tal como mencionado no subcapítulo 5.3.

As diversas simulações efetuadas sustentam esta verificação, pois através da sua análise, foi notória a otimização realizada, onde todas as falhas implicadas na rede implicaram uma alteração na topologia da rede e um aumento de perdas expectáveis, bem como os custos associados à função objetivo. Sendo o estado inicial da rede, para cada situação simulada, alvo de otimização através da mesma metodologia, as diferenças observadas são pequenas pois estamos a tratar de um problema que já se encontra otimizado, logo, a otimização feita posteriormente, em caso de falha, não tem diferenças relevantes nos custos nem nas perdas obtidas em função da nova topologia adotada. Para uma melhor demonstração, na última simulação efetuada, foram apresentados os resultados face a uma situação de falha numa zona crítica da rede de modo a demonstrar o comportamento da rede face a situações de maior complexidade onde, estando perante o caso de uma rede com pouca redundância, se traduz a dificuldade existente por falta de infraestruturas que permitam que a rede seja operada sem qualquer risco para a qualidade de energia entregue, bem como para a interrupção de fornecimento de energia em qualquer ponto da rede de distribuição.

A rede real analisada, posteriormente, poderá ser alvo de um estudo de reestruturação que permita introduzir essa redundância à rede, e permitir que em caso de falha exista forma de a alimentar na sua totalidade. Este planeamento poderá passar pela introdução de novas linhas como também pela inserção de baterias de condensadores e/ou novas produções distribuídas, como por exemplo centrais de biomassa ou de cogeração que têm grande importância não só pelo fornecimento de energia para alimentar cargas, mas também pelo fornecimento de energia reativa, contribuindo, assim, para a redução de perdas e para o incremento dos perfis de tensão da rede.

Dada a instabilidade no equilíbrio entre a produção e o consumo, estando a rede atualmente alimentada por produção distribuída e intermitente, ferramentas como esta desenvolvida na presente tese, permitem que a rede seja operada tendo em conta a sua otimização técnico-económica. A sua velocidade de processamento permite que os clientes finais não se sintam

tão afetados pelas contingências da rede, uma vez que, através da metodologia adotada, estabelece meios para que a reposição de serviço seja célere.

Assim, conclui-se que uma rede de distribuição em MT que integre a metodologia proposta, é uma rede que se pode considerar flexível, interativa, segura e com capacidade para *Self-Healing*.

No que se refere a trabalhos desenvolvidos nesta área, atualmente existe uma grande diversificação nas metodologias adotadas, porém, na presente dissertação estamos a tratar o problema através técnicas de otimização determinísticas, podendo ser considerado um trabalho pioneiro relativamente à operação e reconfiguração da rede de distribuição em contexto de *Smart Grid* com forte penetração de produção distribuída.

5.2 PRINCIPAIS CONTRIBUTOS

Na presente dissertação, foram abordados temas de extrema importância para aquilo que são as redes de distribuição atuais, uma vez que o conceito de *Smart Grid* é, cada vez mais, uma realidade presente na atualidade. Neste sentido, a metodologia aqui demonstrada, veio dar continuação a trabalhos já desenvolvidos na área da operação e reconfiguração das redes de distribuição trazendo conceitos inovadores, desde a vasta introdução de PD como a inserção de novas tecnologias, nomeadamente os parques destinados a carregamentos de veículos elétricos, bem como a introdução de sistemas de armazenamento de energia na rede, recorrendo a técnicas de otimização determinísticas.

As metodologias implementadas fazem utilização de todos os recursos afetos à rede de distribuição e permitem a operação da rede de forma otimizada, para minimizar os custos totais de operação bem como manter a qualidade de serviço e preservar a segurança associada à operação e reconfiguração da rede de distribuição. Assim, a metodologia desenvolvida, bem como a ferramenta OP-Intel criada, dada a sua robustez e velocidade de processamento, tem potencialidade para integrar outras ferramentas informáticas para auxiliar na tomada de decisão na operação de redes quando se está perante uma contingência e, inclusivamente, poderá ser compatível com os requisitos de operação *online* de uma rede de distribuição de energia elétrica.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido na presente dissertação, poderá ser alvo de melhorias e de diferentes abordagens passíveis de se realizarem futuramente. Assim, perante a metodologia de apoio à operação e reconfiguração de uma rede de distribuição em MT num contexto de *Smart Grid* apresentada, outros trabalhos poderão ser desenvolvidos com vista a dotar esta ferramenta de outras funcionalidades e melhorias, tais como:

- Integrar a metodologia com uma ferramenta que permita efetuar a operação *online* das redes de distribuição;
- Considerar a introdução de uma metodologia de planeamento, que, face às adversidades observadas na rede, sugira determinadas alterações que possam vir a ser efetuadas para melhoria da rede;
- Dotar a metodologia de capacidade para operação e reconfiguração da rede em caso de falha dos restantes elementos pertencentes à infraestrutura da rede, como por exemplo seccionadores, disjuntores, transformadores, etc.;
- Introduzir tempos de reparação dos componentes da rede para obter a melhor reconfiguração dependendo do tempo que estes se encontram fora de serviço;
- Introduzir alarmísticas para o caso de falha em alguma das PD's e arranjar soluções, através da operação e reconfiguração da rede, para colmatar essa mesma falha.

(Página intencionalmente deixada em branco)

Referências Documentais

- [1] EDP - Energias de Portugal S.A., “Sistema Elétrico Português.” [Online]. Available: <http://www.edp.pt/pt/aedp/sectordeenergia/sistemaelectricoportugues/Pages/SistEletrNacional.aspx>. [Accessed: 09-Jun-2017].
- [2] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati, and G. P. Hancke, “Smart grid technologies: Communication technologies and standards,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, 2011.
- [3] D. Baimel, S. Tapuchi, and N. Baimel, “Smart grid communication technologies-overview, research challenges and opportunities,” *2016 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion*, 2016.
- [4] L. Berrío and C. Zuluaga, “Concepts, standards and communication technologies in smart grid,” *2012 IEEE 4th Colomb. Work. Circuits Syst. CWCAS 2012 - Conf. Proc.*, 2012.
- [5] D. Gies, M. Hill, A. Graham, B. Vs, and T. Edison, “Safety Considerations for Smart Grid Technology Equipment,” 2010.
- [6] Y. Oualmakran, J. Melendez, and S. Herraiz, “Self-healing for smart grids: Problem formulation and considerations,” *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, 2012.
- [7] M. A. Elgenedy and S. Ahmed, “Smart Grid Self-Healing : Functions , Applications , and Developments,” no. March 2015, 2015.
- [8] D. P. Bernardon, L. N. Canha, A. R. Abaide, V. J. Garcia, M. Sperandio, and G. S. Lopes, “Smart grid concepts applied to self-healing in distribution system,” *Proc. Univ. Power Eng. Conf.*, 2014.
- [9] P. Siano, “Demand response and smart grids - A survey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 461–478, 2014.
- [10] K. Spees and L. B. Lave, “Demand Response and Electricity Market Efficiency,” *Electr. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 69–85, 2007.
- [11] J. Han and M. a. Piette, “Solutions for summer electric power shortages : Demand

- Response and its applications in air conditioning and refrigerating systems,” *Refrig. Air Cond. Electr. Power Mach.*, vol. 29, no. 1, pp. 1–4, 2008.
- [12] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, “Demand response in electricity markets: An overview,” *2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, 2007.
- [13] Agência Portuguesa do Ambiente, “Programa nacional para as alterações climáticas 2020/2030,” 2015.
- [14] Y. Guo, H. Gao, J. Wang, Z. Wu, and C. Han, “Analysis of distributed generation effect on system losses in distribution network,” *Proc. 5th IEEE Int. Conf. Electr. Util. Deregulation, Restruct. Power Technol. DRPT 2015*, pp. 1998–2002, 2015.
- [15] Y. Tian, M. Benidris, S. Sulaeman, S. Elsaiah, and J. Mitra, “Optimal Feeder Reconfiguration and Distributed Generation Placement for Reliability Improvement,” 2016.
- [16] J. P. Sucena Paiva, *Redes de Energia Elétrica: uma análise sistémica*, 4ª Edição. IST Press, 2015.
- [17] *Portaria n.º 596/2010 de 30 de Julho do Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento - Anexo II*. Diário da República, 1ª Série - N.º 147, 2010.
- [18] EDP Distribuição – Energia S.A., “Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede de Distribuição - PDIRD 2015-2019,” 2015.
- [19] “EDP - Energias de Portugal - Rede de Distribuição de E.E.” [Online]. Available: <http://www.edp.pt/pt/fornecedores/seguranca/redededistribuiacao/Pages/RededeDistribuição.aspx>. [Accessed: 21-Mar-2017].
- [20] EDP Distribuição – Energia S.A., “Relatório da Qualidade de Serviço 2016.”
- [21] A. G. Expósito, *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica*, 1ª. 2002.
- [22] F. A. L. Ferreira, “Metodologia para Reconfiguração de Redes de Distribuição Trifásicas Assimétricas e não balanceadas com Geração Distribuída,” 2010.
- [23] R. S. De Carvalho, “Impact of Communication System on Smart Grid Reliability , Security and Operation,” *North Am. Power Symp.*, 2016.
- [24] B. Falahati, A. Kargarian, and Y. Fu, “Impacts of information and communication

- failures on optimal power system operation,” *2013 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. ISGT 2013*, pp. 1–6, 2013.
- [25] a Ajaja and F. D. Galiana, “Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction using MILP,” pp. 1–6, 2011.
- [26] D. Das, “A Fuzzy Multiobjective Approach for Network Reconfiguration of Distribution Systems,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 1, pp. 202–209, 2006.
- [27] Y. Jeon and J. Kim, “Network reconfiguration in radial distribution system using simulated annealing and tabu search,” *IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet.*, vol. 0, no. i, pp. 0–4, 2000.
- [28] I. Sanz, S. Fernandez, F. J. Rodriguez, M. Moranchel, C. Giron, C. Mataix, E. J. Bueno, and R. Martin, “Multi-layer agent-based architecture for smart grid reconfiguration,” *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, vol. 40th Annua, pp. 3570–3576, 2014.
- [29] F. Scenna, D. Anaut, L. I. Passoni, and G. J. Meschino, “Reconfiguration of electrical networks by an Ant Colony Optimization algorithm,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 11, no. 1, pp. 538–544, 2013.
- [30] R. Rahmaniani, T. G. Crainic, M. Gendreau, and W. Rei, “The Benders Decomposition Algorithm: A Literature Review,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 259, no. 3, pp. 801–817, 2016.
- [31] M. Gurreiro, Jorge; Magalhães, Alípio; Ramallete, *Programação Linear Vol. II*. 1985.
- [32] F. M. T. de S. Dias, “Otimização de redes elétricas de distribuição - Planeamento e Operação,” Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2015.
- [33] M. A. Matos, “Sistema por unidade,” pp. 1–5, 2003.
- [34] D. Das, D. P. Kothari, and a. Kalam, “Simple and efficient method for load flow solution of radial distribution networks,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 17, no. 5, pp. 335–346, 1995.
- [35] Schneider Electric, “Transformer / Line Loss Calculations Line Loss and Transformer Loss After the PCC,” in *TECHNICAL NOTE*, 2006, pp. 1–21.

- [36] a. Monticelli, “Power Flow Equations,” pp. 63–102, 1999.
- [37] J.F. Benders, “Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems,” 1ª Edição., J. Numer. Math., Ed. 1962.
- [38] “TOMLAB.” [Online]. Available: <http://tomopt.com/tomlab/>. [Accessed: 04-Apr-2017].
- [39] Comisión Nacional de Energía and Entidade Reguladora do Sector Eléctrico, “Modelo de Organização do Mercado Ibérico de Electricidade,” 2002.
- [40] D. Lauinger, D. Lauinger, F. Vuille, and D. Kuhn, “A review of the state of research on vehicle-to- grid (V2G): Progress and barriers to deployment,” no. March, 2017.
- [41] M. Lavorato, J. F. Franco, M. J. Rider, and R. Romero, “Imposing radiality constraints in distribution system optimization problems,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 1, pp. 172–180, 2012.
- [42] F. M. Barbosa, “O trânsito de potências em sistemas elétricos de energia,” 2013.

ANEXOS E APÊNDICES

(Página intencionalmente deixada em branco)

A.1 REDE DE TESTES

A.1.1 DADOS DA REDE DE TESTES – PRODUÇÕES

Tabela 31 - Dados da rede de testes – Produções

Nº do barramento	Produção Ativa (kW)		Produção Reativa ($kvar$)		Produção Aparente (kVA)		Custo Prod. ($€/kVA$)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
1	0	150,0000	-75,0000	75,0000	75,0000	167,7051	0,1000	Subestação
2	21,0700	21,0714	0,0000	0,0000	21,0700	21,0714	0,0654	Eólica
5	16,7300	16,7300	0,0000	0,0000	16,7300	16,7300	0,0847	Fotovoltaica
8	0,0000	100,0000	-70,0000	70,0000	70,0000	122,0656	0,1247	Biomassa
11	0,0000	40,0000	-30,0000	30,0000	30,0000	50,0000	0,1247	Biomassa

A.1.2 DADOS DA REDE DE TESTES – CARGAS

Tabela 32 - Dados da rede de testes – Cargas

Nº do barramento	Carga Ativa (kW)		Carga Reativa ($kvar$)		Carga Aparente (kVA)		Custo Alim. Carga ($€/kVA$)	Custo DR ($€/kVA$)	Custo PNE ($€/kVA$)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
2	31,2000	6,3000	5,0833	1,5250	31,6114	6,4819	0,0900	0,0630	3,0000
3	69,0000	9,2250	7,4583	2,2375	69,4019	9,4925	0,0900	0,0923	3,0000
4	60,0000	13,5000	10,9167	3,2750	60,9850	13,8916	0,1400	0,1350	3,0000
6	37,5000	7,8750	6,3750	1,9125	38,0380	8,1039	0,1500	0,0788	3,0000
5	31,2000	12,3000	0,0000	0,0000	31,2000	12,3000	0,0900	0,1230	3,0000
7	31,2000	6,3000	5,0833	1,5250	31,6114	6,4819	0,0900	0,0630	3,0000
9	36,9000	4,6125	7,4583	2,2375	37,6462	5,1266	0,0900	0,0461	3,0000
12	60,0000	13,5000	10,9167	3,2750	60,9850	13,8916	0,1400	0,1350	3,0000
13	37,5000	7,8750	6,3750	1,9125	38,0380	8,1039	0,1500	0,0788	3,0000

A.1.3 DADOS DA REDE DE TESTES – SAE E PVE

Tabela 33 - Dados da rede de testes – Sistemas de armazenamento de energia

Sistemas de armazenamento de energia						
Nº do barramento	Estado prévio (kVA)	Limites máximos (kVA)		Capacidade (kVA)	Custos ($€/kVA$)	
		Carregar	Descarregar		Carregar	Descarregar
2	1,1547	0,9623	0,9623	3,8490	0,1100	0,0900
4	1,1547	0,9623	0,9623	3,8490	0,1100	0,0900

Tabela 34 - Dados da rede de testes – PVE

Parques destinados a carregamento de veículos elétricos						
Nº do barramento	Estado prévio (kVA)	Limites máximos (kVA)		Capacidade (kVA)	Custos (€/kVA)	
		Carregar	Descarregar		Carregar	Descarregar
4	0,3849	0,1155	0,1155	0,3000	0,1200	0,1400

A.1.4 DADOS DA REDE DE TESTES – CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS

Tabela 35 - Dados da rede de testes – Características das linhas

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de chegada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (kVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
1	2	0,6885	0,6480	300,0000	413,1000	0,1500
1	3	0,9180	0,8640	300,0000	413,1000	0,2000
2	1	0,6885	0,6480	300,0000	413,1000	0,1500
2	4	3,5775	1,3635	118,0000	1287,9000	0,2500
2	8	3,7800	1,5863	122,0000	1701,0000	0,2000
3	1	0,9180	0,8640	300,0000	413,1000	0,2000
3	7	1,5255	0,7830	155,0000	915,3000	0,1500
3	8	1,3208	0,6728	122,0000	396,2250	0,3000
3	10	1,4715	0,7020	122,0000	662,1750	0,2000
4	2	3,5775	1,3635	118,0000	1287,9000	0,2500
4	5	0,4590	0,4320	118,0000	118,0286	0,3500
4	9	1,3208	0,6728	122,0000	792,4500	0,1500
5	4	0,4590	0,4320	118,0000	118,0286	0,3500
5	6	0,8033	0,7560	122,0000	289,1700	0,2500
6	5	0,8033	0,7560	122,0000	289,1700	0,2500
6	9	0,6885	0,6480	122,0000	619,6500	0,1000
6	13	1,9215	1,2195	122,0000	288,2250	0,6000
7	3	1,5255	0,7830	155,0000	915,3000	0,1500
7	10	1,2555	1,0283	122,0000	75,3300	1,5000
8	2	3,7800	1,5863	122,0000	1701,0000	0,2000
8	3	1,3208	0,6728	122,0000	396,2250	0,3000
8	9	1,9215	1,0013	155,0000	432,3375	0,4000
8	11	1,2555	1,0283	122,0000	451,9800	0,2500
9	4	1,3208	0,6728	122,0000	792,4500	0,1500
9	6	0,6885	0,6480	122,0000	619,6500	0,1000
9	8	1,9215	1,0013	155,0000	432,3375	0,4000
9	13	0,9180	0,8640	122,0000	330,4800	0,2500
10	3	1,4715	0,7020	122,0000	662,1750	0,2000
10	7	1,2555	1,0283	122,0000	75,3300	1,5000
10	11	1,9215	1,2195	144,0000	1729,3500	0,1000
10	12	1,9665	0,7538	144,0000	252,8357	0,7000
11	8	1,2555	1,0283	122,0000	451,9800	0,2500

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de chegada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (kVA)	Resistividade ($\Omega.mm^2/km$)	Comprimento (km)
11	10	1,9215	1,2195	144,0000	1729,3500	0,1000
11	13	1,2173	0,5018	122,0000	1460,7000	0,0750
12	10	1,9665	0,7538	144,0000	252,8357	0,7000
13	6	1,9215	1,2195	122,0000	288,2250	0,6000
13	9	0,9180	0,8640	122,0000	330,4800	0,2500
13	11	1,2173	0,5018	122,0000	1460,7000	0,0750

A.1.5 REDE DE TESTES – RESULTADOS: TOPOLOGIA INICIAL

A.1.5.1 Custos gerais

Tabela 36 - Rede de testes – Custos gerais – Topologia inicial

Custos (€)								
Subproblema	Pgen	PExgen	DR	PNE	stDsc	Market	Losses	Total
Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3489	347,2293
Escravo	267,5726	0,0000	101,2227	0,0000	45,0000	0,0000	0,5270	414,3223

A.1.5.2 Produções

Tabela 37 - Rede de testes – Produções – Topologia inicial

Barramento	Mestre (kVA)	Escravo (kVA)
1	167,7051	155,1754
2	21,0714	21,0714
5	16,7300	16,7300
11	50,0000	40,0000
8	0,0000	0,0000
Total	255,5065	232,9768

A.1.5.3 Demand Response

Tabela 38 - Rede de testes – Demand Response – Topologia inicial

Barramento	Mestre (kVA)	Escravo (kVA)
2	6,4819	6,3000
3	9,4925	9,2250
4	0,0000	13,5000
6	0,0000	1,2342

Barramento	Mestre (kVA)	Escravo (kVA)
5	12,3000	12,3000
7	6,4819	6,3000
9	5,1266	4,6125
12	4,1279	13,5000
13	0,0000	0,0000
Total	44,0108	66,9717

A.1.5.4 Descarga do SAE

Tabela 39 - Rede de testes – Descarga do SAE – Topologia inicial

Barramento	Mestre (kVA)	Escravo (kVA)
2	25,0000	25,0000
4	25,0000	25,0000

A.1.5.5 Alimentadores

Tabela 40 - Rede de testes – Alimentadores – Topologia inicial

Alimentador	Mestre	Escravo
Produção (kVA)	167,7051	155,1754
Trânsito aparente B1 - B2 (kVA)	75,8090	73,0903
Trânsito aparente B1 - B3 (kVA)	141,8961	132,1199

A.1.5.6 Fluxos de potência

Tabela 41 - Rede de testes – Fluxos de potência – Topologia inicial

Barramento de saída	Barramento de chegada	Mestre (kVA)	Escravo (kVA)
1	2	75,8090	73,0903
1	3	141,8961	132,1199
2	4	38,1550	23,8917
4	5	2,1700	4,2808
13	6	38,0380	36,7722
3	7	25,1294	25,1085
2	8	58,5959	68,7331
8	9	32,5197	32,8640
3	10	56,8572	47,0400
8	11	26,0762	36,0190
10	12	56,8572	47,0245
11	13	76,0760	74,8421

A.1.5.7 Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos

Tabela 42 - Rede de testes –Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – T.I.

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (kVA)	Pot. Reativa Injetada (kvar)
1	15000,0000	0,0000	200,0000	39,7416
2	14995,7701	-0,0001	21,1714	-3,1933
3	14991,1124	-0,0004	-59,7750	-4,6908
4	14989,8319	-0,0002	-21,5000	-6,8667
5	14989,8718	-0,0002	-2,1700	3,6900
6	14961,8775	-0,0006	-36,2658	-6,0047
7	14988,4113	-0,0005	-24,9000	-3,1933
8	14977,1264	-0,0003	-0,0001	0,0000
9	14972,5765	-0,0004	-32,2875	-6,0746
10	14986,2226	-0,0005	-0,0001	0,0000
11	14973,4401	-0,0004	39,9999	0,0000
12	14979,7726	-0,0006	-46,5000	-6,8667
13	14967,0246	-0,0005	-37,5000	-6,3750

A.1.6 REDE DE TESTES – RESULTADOS: SIMULAÇÃO 1

A.1.6.1 Custos gerais

Tabela 43 - Rede de testes – Custos gerais – Simulação 1

		Custos (€)							
		<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Inicial	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3489	347,2293
	Escravo	267,5726	0,0000	101,2227	0,0000	45,0000	0,0000	0,5270	414,3223
Falha 2-4	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,4585	347,3389
	Escravo	267,5987	0,0000	101,3281	0,0000	45,0000	0,0000	0,6399	414,5667

A.1.6.2 Produções

Tabela 44 - Rede de testes – Produções – Simulação 1

Barramento	Inicial (<i>kVA</i>)		Falha 2-4 (<i>kVA</i>)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
1	167,7051	155,1754	167,7051	155,1821
2	21,0714	21,0714	21,0714	21,0714
5	16,7300	16,7300	16,7300	16,7300
11	50,0000	40,0000	50,0000	40,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	255,5065	232,9768	255,5065	232,9835

A.1.6.3 Demand Response

Tabela 45 - Rede de testes – Demand Response – Simulação 1

Barramento	Inicial (<i>kVA</i>)		Falha 2-4 (<i>kVA</i>)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
2	6,4819	6,3000	6,4819	6,3000
3	9,4925	9,2250	9,4925	9,2250
4	0,0000	13,5000	4,1279	13,5000
6	0,0000	1,2342	0,0000	1,2865
5	12,3000	12,3000	12,3000	12,3000
7	6,4819	6,3000	6,4819	6,3000
9	5,1266	4,6125	5,1266	4,6125
12	4,1279	13,5000	0,0000	13,5000
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	44,0108	66,9717	44,0108	67,0240

A.1.6.4 Descarga do SAE

Tabela 46 - Rede de testes – Descarga do SAE – Simulação 1

Barramento	Inicial (<i>kVA</i>)		Falha 2-4 (<i>kVA</i>)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
2	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000
4	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000

A.1.6.5 Alimentadores

Tabela 47 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 1

Alimentador	Inicial		Falha 2-4	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
Produção (<i>kVA</i>)	167,7051	155,1754	167,7051	155,1821
Trânsito aparente B1 - B2 (<i>kVA</i>)	75,8090	73,0903	45,6049	37,0438
Trânsito aparente B1 - B3 (<i>kVA</i>)	141,8961	132,1199	172,1002	167,3627

A.1.6.6 Fluxos de potência

Tabela 48 - Rede de testes – Fluxos de potência – Simulação 1

B. Saída	B. Chegada	Inicial		B. Saída	B. Chegada	Falha 2-4	
		Mestre (kVA)	Escravo (kVA)			Mestre (kVA)	Escravo (kVA)
1	2	75,8100	73,0900	1	2	45,6049	37,0438
1	3	141,9000	132,1200	1	3	172,1002	167,3627
2	4	38,1600	23,8900	9	4	34,0271	23,8858
4	5	2,1700	4,2800	4	5	2,1700	4,2808
13	6	38,0400	36,7700	13	6	38,0380	36,7180
3	7	25,1300	25,1100	3	7	25,1294	25,1085
2	8	58,6000	68,7300	2	8	66,5469	56,8076
8	9	32,5200	32,8600	8	9	66,5468	56,7503
3	10	56,8600	47,0400	3	10	87,0613	82,6136
8	11	26,0800	36,0200	10	11	26,0762	35,9683
10	12	56,8600	47,0200	10	12	60,9850	47,0245
11	13	76,0800	74,8400	11	13	76,0760	74,7879

A.1.6.7 Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos

Tabela 49 - Rede de testes – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.1

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (kVA)	Pot. Reativa Injetada (kvar)
1	15000,0000	0,0000	200,0000	5,6615
2	14997,8122	-0,0001	21,1714	-3,1933
3	14990,3543	-0,0007	-59,7750	-4,6908
4	14972,2442	-0,0005	-22,3050	-7,1082
5	14972,2841	-0,0005	-2,1700	3,6900
6	14971,5994	-0,0016	-29,6250	-4,0125
7	14987,6530	-0,0007	-24,9000	-3,1933
8	14982,4760	-0,0003	-0,0001	0,0000
9	14974,5568	-0,0005	-32,2875	-6,0746
10	14983,2538	-0,0010	-0,0001	0,0000
11	14980,8141	-0,0014	26,3259	30,0000
12	14976,8025	-0,0011	-46,5000	-6,8667
13	14975,7285	-0,0015	-29,6250	-4,0125

A.1.7 REDE DE TESTES – RESULTADOS: SIMULAÇÃO 2

A.1.7.1 Custos gerais

Tabela 50 - Rede de testes – Custos gerais – Simulação 2

		Custos (€)							
		Pgen	PExgen	DR	PNE	stDsc	Market	Losses	Total
Inicial	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3489	347,2293
	Escravo	267,5726	0,0000	101,2227	0,0000	45,0000	0,0000	0,5270	414,3223
Falha 3-10	Mestre	258,0061	0,0000	43,8743	0,0000	45,0000	0,0000	0,3947	347,2751
	Escravo	267,5831	0,0000	101,2809	0,0000	45,0000	0,0000	0,5846	414,4486

A.1.7.2 Produções

Tabela 51 - Rede de testes – Produções – Simulação 2

Barramento	Inicial (kVA)		Falha 3-10 (kVA)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
1	167,7051	155,1754	167,7051	155,1780
2	21,0714	21,0714	21,0714	21,0714
5	16,7300	16,7300	16,7300	16,7300
11	50,0000	40,0000	50,0000	40,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	255,5065	232,9768	255,5065	232,9795

A.1.7.3 Demand Response

Tabela 52 - Rede de testes – Demand Response – Simulação 2

Barramento	Inicial (kVA)		Falha 3-10 (kVA)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
2	6,4819	6,3000	6,4819	6,3000
3	9,4925	9,2250	9,4925	9,2250
4	0,0000	13,5000	0,0000	13,5000
6	0,0000	1,2342	0,0000	1,2631
5	12,3000	12,3000	12,3000	12,3000
7	6,4819	6,3000	6,4819	6,3000
9	5,1266	4,6125	5,1266	4,6125
12	4,1279	13,5000	4,1279	13,5000
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	44,0108	66,9717	44,0108	67,0006

A.1.7.4 Descarga do SAE

Tabela 53 - Rede de testes – Descarga do SAE – Simulação 2

Barramento	Inicial (<i>kVA</i>)		Falha 3-10 (<i>kVA</i>)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
2	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000
4	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000

A.1.7.5 Alimentadores

Tabela 54 - Rede de testes – Alimentadores – Simulação 2

Alimentador	Inicial		Falha 3-10	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
Produção (<i>kVA</i>)	50,0000	40,0000	167,7051	155,1780
Trânsito aparente B1 - B2 (<i>kVA</i>)	75,8090	73,0903	75,8090	73,0600
Trânsito aparente B1 - B3 (<i>kVA</i>)	141,8961	132,1199	141,8961	132,1509

A.1.7.6 Fluxos de potência

Tabela 55 - Rede de testes – Fluxos de potência – Simulação 2

B. Saída	B. Chegada	Inicial		B. Saída	B. Chegada	Falha 3-10	
		Mestre (<i>kVA</i>)	Escravo (<i>kVA</i>)			Mestre (<i>kVA</i>)	Escravo (<i>kVA</i>)
1	2	75,8100	73,0900	1	2	75,8090	73,0600
1	3	141,9000	132,1200	1	3	141,8961	132,1509
2	4	38,1600	23,8900	2	4	38,1550	23,8917
4	5	2,1700	4,2800	4	5	2,1700	4,2808
13	6	38,0400	36,7700	13	6	38,0380	36,7423
3	7	25,1300	25,1100	3	7	81,9867	72,1768
2	8	58,6000	68,7300	2	8	58,5959	68,7028
8	9	32,5200	32,8600	8	9	32,5197	32,8640
3	10	56,8600	47,0400	7	10	56,8572	47,0384
8	11	26,0800	36,0200	8	11	26,0762	35,9888
10	12	56,8600	47,0200	10	12	56,8571	47,0245
11	13	76,0800	74,8400	11	13	76,0760	74,8122

A.1.7.7 Tensão, ângulo e potências ativa e reativa injetadas nos barramentos

Tabela 56 - Rede de testes – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.2

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (ϑ)	Pot. Ativa Injetada (kW)	Pot. Reativa Injetada (kvar)
1	15000	0,0000	200,0000	39,7521
2	14995,77179	-0,0001	21,1714	-3,1933
3	14991,10952	-0,0004	-59,7750	-4,6908
4	14989,83363	-0,0002	-21,5000	-6,8667
5	14989,87353	-0,0002	-2,1700	3,6900
6	14961,89753	-0,0006	-36,2369	-5,9961
7	14983,30993	-0,0006	-24,9000	-3,1933
8	14977,13638	-0,0003	-0,0001	0,0000
9	14972,58649	-0,0004	-32,2875	-6,0746
10	14978,93866	-0,0008	-0,0001	0,0000
11	14973,4531	-0,0004	39,9999	0,0000
12	14972,48556	-0,0009	-46,5000	-6,8667
13	14967,04019	-0,0005	-37,5000	-6,3750

A.2 REDE REAL

A.2.1 DADOS DA REDE REAL – PRODUÇÕES – PERÍODO 1

Tabela 57 - Dados da rede real – Produções – Período 1

Nº do barramento	Produção Ativa (MVA)		Produção Reativa (Mvar)		Produção Aparente (MVA)		Custo Prod. (€/MVA)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
1	2,0000	30,0000	-1,00E-05	10,0000	2,0000	31,6228	0,1712	Subestação
2	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,1391	Biomassa
3	0,0520	0,2598	-1,00E-05	0,0971	0,0520	0,2773	0,0963	Eólica
3	0,0015	0,0076	-1,00E-05	0,0028	0,0015	0,0081	0,1391	Biomassa
5	0,0344	0,0344	-1,00E-05	0,0102	0,0344	0,0359	0,1391	Biomassa
5	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0253	0,1391	Biomassa
6	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1605	Fotovoltaica
7	0,0339	0,0339	-1,00E-05	0,0102	0,0339	0,0354	0,0963	Eólica
7	0,0228	0,0228	-1,00E-05	0,0096	0,0228	0,0248	0,1391	Biomassa
8	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0358	0,1605	Fotovoltaica
9	0,0335	0,0335	-1,00E-05	0,0102	0,0335	0,0350	0,1605	Fotovoltaica
10	0,0230	0,1149	-1,00E-05	0,0425	0,0230	0,1225	0,0963	Eólica
11	0,0344	0,0344	-1,00E-05	0,0102	0,0344	0,0358	0,1605	Fotovoltaica
11	0,0341	0,0341	-1,00E-05	0,0102	0,0341	0,0356	0,1391	Biomassa
12	0,0341	0,0341	-1,00E-05	0,0102	0,0341	0,0356	0,1605	Fotovoltaica
13	0,0336	0,0336	-1,00E-05	0,0102	0,0336	0,0352	0,1391	Biomassa
14	0,0335	0,0335	-1,00E-05	0,0102	0,0335	0,0350	0,1605	Fotovoltaica
15	0,0227	0,1133	-1,00E-05	0,0425	0,0227	0,1210	0,1605	Fotovoltaica
16	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0251	0,1605	Fotovoltaica
17	0,0340	0,0340	-1,00E-05	0,0102	0,0340	0,0355	0,1605	Fotovoltaica
18	0,0344	0,0344	-1,00E-05	0,0102	0,0344	0,0359	0,1605	Fotovoltaica
21	0,0339	0,0339	-1,00E-05	0,0102	0,0339	0,0354	0,0963	Eólica
23	0,0340	0,0340	-1,00E-05	0,0102	0,0340	0,0355	0,1605	Fotovoltaica
25	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1605	Fotovoltaica
27	0,0227	0,1136	-1,00E-05	0,0425	0,0227	0,1212	0,1605	Fotovoltaica
29	0,0513	0,2563	-1,00E-05	0,0971	0,0513	0,2740	0,1605	Fotovoltaica
31	0,0335	0,0335	-1,00E-05	0,0102	0,0335	0,0350	0,1605	Fotovoltaica
33	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1391	Biomassa
37	0,0335	0,0335	-1,00E-05	0,0102	0,0335	0,0350	0,1605	Fotovoltaica
39	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0358	0,1605	Fotovoltaica
41	0,0334	0,0334	-1,00E-05	0,0102	0,0334	0,0350	0,1605	Fotovoltaica
43	0,0015	0,0076	-1,00E-05	0,0028	0,0015	0,0081	0,1605	Fotovoltaica
45	0,0341	0,0341	-1,00E-05	0,0102	0,0341	0,0356	0,1605	Fotovoltaica
47	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0358	0,1391	Biomassa
49	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0358	0,1605	Fotovoltaica
51	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1605	Fotovoltaica

Nº do barramento	Produção Ativa (<i>MVA</i>)		Produção Reativa (<i>Mvar</i>)		Produção Aparente (<i>MVA</i>)		Custo Prod. (€/MVA)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
53	0,0007	0,0033	-1,00E-05	0,0012	0,0007	0,0035	0,1605	Fotovoltaica
55	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1605	Fotovoltaica
57	0,0344	0,0344	-1,00E-05	0,0102	0,0344	0,0359	0,1391	Biomassa
59	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0358	0,1605	Fotovoltaica
61	0,0336	0,0336	-1,00E-05	0,0102	0,0336	0,0351	0,1605	Fotovoltaica
63	0,0337	0,0337	-1,00E-05	0,0102	0,0337	0,0352	0,1605	Fotovoltaica
64	0,0340	0,0340	-1,00E-05	0,0102	0,0340	0,0355	0,1605	Fotovoltaica
65	0,0336	0,0336	-1,00E-05	0,0102	0,0336	0,0351	0,1605	Fotovoltaica
66	0,0342	0,0342	-1,00E-05	0,0102	0,0342	0,0357	0,1605	Fotovoltaica
67	0,0234	0,0234	-1,00E-05	0,0096	0,0234	0,0253	0,1605	Fotovoltaica
68	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0249	0,1605	Fotovoltaica
69	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
70	0,0230	0,0230	-1,00E-05	0,0096	0,0230	0,0249	0,0963	Eólica
71	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0251	0,0963	Eólica
72	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0251	0,0963	Eólica
73	0,0234	0,0234	-1,00E-05	0,0096	0,0234	0,0253	0,0963	Eólica
74	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0248	0,0963	Eólica
75	0,0372	0,1858	-1,00E-05	0,0708	0,0372	0,1988	0,0963	Eólica
76	0,0228	0,0228	-1,00E-05	0,0096	0,0228	0,0247	0,0963	Eólica
78	0,0230	0,0230	-1,00E-05	0,0096	0,0230	0,0250	0,0963	Eólica
79	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0251	0,0963	Eólica
80	0,0234	0,0234	-1,00E-05	0,0096	0,0234	0,0253	0,0963	Eólica
81	0,0230	0,0230	-1,00E-05	0,0096	0,0230	0,0250	0,0963	Eólica
82	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0248	0,0963	Eólica
83	0,0230	0,0230	-1,00E-05	0,0096	0,0230	0,0249	0,0963	Eólica
84	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,0963	Eólica
85	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
86	0,0234	0,0234	-1,00E-05	0,0096	0,0234	0,0253	0,0963	Eólica
87	0,0007	0,0033	-1,00E-05	0,0012	0,0007	0,0035	0,0963	Eólica
88	0,0339	0,0339	-1,00E-05	0,0102	0,0339	0,0354	0,1391	Biomassa
89	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,1605	Fotovoltaica
91	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0251	0,0963	Eólica
93	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
95	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,0963	Eólica
97	0,0337	0,0337	-1,00E-05	0,0102	0,0337	0,0352	0,0963	Eólica
99	0,0258	0,0258	-1,00E-05	0,0096	0,0258	0,0276	0,1605	Fotovoltaica
101	0,0234	0,0234	-1,00E-05	0,0096	0,0234	0,0253	0,0963	Eólica
103	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,0963	Eólica
105	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0248	0,0963	Eólica
107	0,0341	0,0341	-1,00E-05	0,0102	0,0341	0,0355	0,0963	Eólica
109	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,1605	Fotovoltaica
111	0,0378	0,1892	-1,00E-05	0,0708	0,0378	0,2020	0,0963	Eólica
113	0,0337	0,0337	-1,00E-05	0,0102	0,0337	0,0352	0,1391	Biomassa

Nº do barramento	Produção Ativa (MVA)		Produção Reativa (Mvar)		Produção Aparente (MVA)		Custo Prod. (€/MVA)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
115	0,0335	0,0335	-1,00E-05	0,0102	0,0335	0,0350	0,1605	Fotovoltaica
117	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,1605	Fotovoltaica
119	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,0963	Eólica
121	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0252	0,0963	Eólica
123	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0357	0,0963	Eólica
125	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,1605	Fotovoltaica
127	0,0381	0,1904	-1,00E-05	0,0708	0,0381	0,2031	0,0963	Eólica
129	0,0228	0,0228	-1,00E-05	0,0096	0,0228	0,0247	0,1391	Biomassa
131	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
133	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0248	0,0963	Eólica
135	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0251	0,0963	Eólica
137	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
139	0,0230	0,0230	-1,00E-05	0,0096	0,0230	0,0250	0,0963	Eólica
141	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0248	0,0963	Eólica
143	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0249	0,0963	Eólica
145	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
147	0,0233	0,0233	-1,00E-05	0,0096	0,0233	0,0252	0,0963	Eólica
148	0,0234	0,0234	-1,00E-05	0,0096	0,0234	0,0253	0,0963	Eólica
149	0,0228	0,0228	-1,00E-05	0,0096	0,0228	0,0248	0,0963	Eólica
150	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0250	0,0963	Eólica
151	0,0227	0,0227	-1,00E-05	0,0096	0,0227	0,0247	0,0963	Eólica
152	0,0339	0,0339	-1,00E-05	0,0102	0,0339	0,0354	0,0963	Eólica
153	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1605	Fotovoltaica
154	0,0228	0,1139	-1,00E-05	0,0425	0,0228	0,1216	0,1605	Fotovoltaica
155	0,0228	0,0228	-1,00E-05	0,0096	0,0228	0,0247	0,1391	Biomassa
156	0,0227	0,1135	-1,00E-05	0,0425	0,0227	0,1212	0,0963	Eólica
157	0,0232	0,0232	-1,00E-05	0,0096	0,0232	0,0251	0,1391	Biomassa
158	0,0228	0,1138	-1,00E-05	0,0425	0,0228	0,1214	0,0963	Eólica
159	0,0229	0,0229	-1,00E-05	0,0096	0,0229	0,0248	0,1391	Biomassa
160	0,0340	0,0340	-1,00E-05	0,0102	0,0340	0,0355	0,0963	Eólica
161	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0251	0,1605	Fotovoltaica
162	0,0228	0,0228	-1,00E-05	0,0096	0,0228	0,0247	0,0963	Eólica
163	0,0343	0,0343	-1,00E-05	0,0102	0,0343	0,0358	0,0963	Eólica
164	0,0338	0,0338	-1,00E-05	0,0102	0,0338	0,0353	0,1605	Fotovoltaica
165	0,0335	0,0335	-1,00E-05	0,0102	0,0335	0,0351	0,1605	Fotovoltaica
166	0,0007	0,0033	-1,00E-05	0,0012	0,0007	0,0036	0,1605	Fotovoltaica
167	0,0379	0,1893	-1,00E-05	0,0708	0,0379	0,2021	0,1391	Biomassa
173	0,0231	0,0231	-1,00E-05	0,0096	0,0231	0,0251	0,0963	Eólica

A.2.2 DADOS DA REDE REAL – PRODUÇÕES – PERÍODO 2

Tabela 58 - Dados da rede real – Produções – Período 2

Nº do barramento	Produção Ativa (MVA)		Produção Reativa (Mvar)		Produção Aparente (MVA)		Custo Prod. (€/MVA)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
1	2,0000	30,0000	-1,00E-05	10,0000	2,0000	31,6228	0,1640	Subestação
2	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Biomassa
3	0,0520	0,2598	-1,00E-05	0,0971	0,0520	0,2773	0,2132	Eólica
3	0,0015	0,0076	-1,00E-05	0,0028	0,0015	0,0081	0,2132	Biomassa
5	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
5	0,0253	0,0253	-1,00E-05	0,0096	0,0253	0,0271	0,1476	Biomassa
6	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
7	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
7	0,0247	0,0247	-1,00E-05	0,0096	0,0247	0,0265	0,1476	Biomassa
8	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
9	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
10	0,0230	0,1149	-1,00E-05	0,0425	0,0230	0,1225	0,2132	Eólica
11	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
11	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
12	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
13	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
14	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
15	0,0227	0,1133	-1,00E-05	0,0425	0,0227	0,1210	0,2132	Fotovoltaica
16	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Fotovoltaica
17	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
18	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
21	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
23	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
25	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
27	0,0227	0,1136	-1,00E-05	0,0425	0,0227	0,1212	0,2132	Fotovoltaica
29	0,0513	0,2563	-1,00E-05	0,0971	0,0513	0,2740	0,2132	Fotovoltaica
31	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
33	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
37	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
39	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
41	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
43	0,0015	0,0076	-1,00E-05	0,0028	0,0015	0,0081	0,2132	Fotovoltaica
45	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
47	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
49	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
51	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
53	0,0007	0,0033	-1,00E-05	0,0012	0,0007	0,0035	0,2132	Fotovoltaica
55	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
57	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa

Nº do barramento	Produção Ativa (MVA)		Produção Reativa (Mvar)		Produção Aparente (MVA)		Custo Prod. (€/MVA)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
59	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
61	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
63	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
64	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
65	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
66	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
67	0,0254	0,0254	-1,00E-05	0,0096	0,0254	0,0272	0,1476	Fotovoltaica
68	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Fotovoltaica
69	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Eólica
70	0,0249	0,0249	-1,00E-05	0,0096	0,0249	0,0267	0,1476	Eólica
71	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Eólica
72	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Eólica
73	0,0254	0,0254	-1,00E-05	0,0096	0,0254	0,0271	0,1476	Eólica
74	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Eólica
75	0,0372	0,1858	-1,00E-05	0,0708	0,0372	0,1988	0,2132	Eólica
76	0,0247	0,0247	-1,00E-05	0,0096	0,0247	0,0265	0,1476	Eólica
78	0,0249	0,0249	-1,00E-05	0,0096	0,0249	0,0267	0,1476	Eólica
79	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Eólica
80	0,0253	0,0253	-1,00E-05	0,0096	0,0253	0,0271	0,1476	Eólica
81	0,0249	0,0249	-1,00E-05	0,0096	0,0249	0,0267	0,1476	Eólica
82	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Eólica
83	0,0249	0,0249	-1,00E-05	0,0096	0,0249	0,0267	0,1476	Eólica
84	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Eólica
85	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Eólica
86	0,0254	0,0254	-1,00E-05	0,0096	0,0254	0,0271	0,1476	Eólica
87	0,0007	0,0033	-1,00E-05	0,0012	0,0007	0,0035	0,2132	Eólica
88	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
89	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Fotovoltaica
91	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Eólica
93	0,0253	0,0253	-1,00E-05	0,0096	0,0253	0,0271	0,1476	Eólica
95	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Eólica
97	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
99	0,0258	0,0258	-1,00E-05	0,0096	0,0258	0,0276	0,1476	Fotovoltaica
101	0,0254	0,0254	-1,00E-05	0,0096	0,0254	0,0271	0,1476	Eólica
103	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Eólica
105	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Eólica
107	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
109	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Fotovoltaica
111	0,0378	0,1892	-1,00E-05	0,0708	0,0378	0,2020	0,2132	Eólica
113	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Biomassa
115	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
117	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Fotovoltaica
119	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0268	0,1476	Eólica

Nº do barramento	Produção Ativa (<i>MVA</i>)		Produção Reativa (<i>Mvar</i>)		Produção Aparente (<i>MVA</i>)		Custo Prod. (€/MVA)	Tipo de produção
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
121	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Eólica
123	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
125	0,0253	0,0253	-1,00E-05	0,0096	0,0253	0,0270	0,1476	Fotovoltaica
127	0,0381	0,1904	-1,00E-05	0,0708	0,0381	0,2031	0,2132	Eólica
129	0,0247	0,0247	-1,00E-05	0,0096	0,0247	0,0265	0,1476	Biomassa
131	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Eólica
133	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Eólica
135	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Eólica
137	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Eólica
139	0,0249	0,0249	-1,00E-05	0,0096	0,0249	0,0267	0,1476	Eólica
141	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Eólica
143	0,0249	0,0249	-1,00E-05	0,0096	0,0249	0,0267	0,1476	Eólica
145	0,0252	0,0252	-1,00E-05	0,0096	0,0252	0,0270	0,1476	Eólica
147	0,0253	0,0253	-1,00E-05	0,0096	0,0253	0,0271	0,1476	Eólica
148	0,0253	0,0253	-1,00E-05	0,0096	0,0253	0,0271	0,1476	Eólica
149	0,0247	0,0247	-1,00E-05	0,0096	0,0247	0,0266	0,1476	Eólica
150	0,0250	0,0250	-1,00E-05	0,0096	0,0250	0,0268	0,1476	Eólica
151	0,0246	0,0246	-1,00E-05	0,0096	0,0246	0,0264	0,1476	Eólica
152	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
153	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
154	0,0228	0,1139	-1,00E-05	0,0425	0,0228	0,1216	0,2132	Fotovoltaica
155	0,0247	0,0247	-1,00E-05	0,0096	0,0247	0,0265	0,1476	Biomassa
156	0,0227	0,1135	-1,00E-05	0,0425	0,0227	0,1212	0,2132	Eólica
157	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Biomassa
158	0,0228	0,1138	-1,00E-05	0,0425	0,0228	0,1214	0,2132	Eólica
159	0,0248	0,0248	-1,00E-05	0,0096	0,0248	0,0266	0,1476	Biomassa
160	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
161	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0268	0,1476	Fotovoltaica
162	0,0247	0,0247	-1,00E-05	0,0096	0,0247	0,0265	0,1476	Eólica
163	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Eólica
164	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
165	0,0000	0,0000	-1,00E-05	0,0102	0,0000	0,0102	0,2460	Fotovoltaica
166	0,0007	0,0033	-1,00E-05	0,0012	0,0007	0,0036	0,2132	Fotovoltaica
167	0,0379	0,1893	-1,00E-05	0,0708	0,0379	0,2021	0,2132	Biomassa
173	0,0251	0,0251	-1,00E-05	0,0096	0,0251	0,0269	0,1476	Eólica

A.2.3 DADOS DA REDE REAL – CARGAS – PERÍODO 1

Tabela 59 - Dados da rede real – Cargas – Período 1

Nº do barramento	Carga Ativa (<i>MW</i>)		Carga Reativa (<i>Mvar</i>)		Carga Aparente (<i>MVA</i>)		Custo Alim. Carga (<i>€/MVA</i>)	Custo DR (<i>€/MVA</i>)	Custo PNE (<i>€/MVA</i>)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
4	0,0341	0,0170	0,0125	0,0037	0,0363	0,0174	0,1600	0,0050	3,0000
8	0,4110	0,1644	0,1503	0,0451	0,4376	0,1705	0,1600	0,0050	3,0000
9	0,1111	0,0333	0,0335	0,0100	0,1161	0,0348	0,1600	0,0050	3,0000
10	0,1110	0,0666	0,0384	0,0115	0,1174	0,0676	0,1600	0,0050	3,0000
12	0,0649	0,0130	0,0252	0,0076	0,0696	0,0150	0,1600	0,0050	3,0000
14	0,0634	0,0000	0,0198	0,0059	0,0664	0,0059	0,1600	0,0050	3,0000
16	0,0694	0,0347	0,0213	0,0064	0,0726	0,0353	0,1600	0,0050	3,0000
20	0,1625	0,0650	0,0612	0,0184	0,1737	0,0676	0,1600	0,0050	3,0000
21	0,1689	0,0507	0,0660	0,0198	0,1813	0,0544	0,1600	0,0050	3,0000
23	0,1745	0,1047	0,0569	0,0171	0,1835	0,1061	0,1600	0,0050	3,0000
24	0,0649	0,0130	0,0252	0,0076	0,0696	0,0150	0,1600	0,0050	3,0000
26	0,1014	0,0000	0,0317	0,0095	0,1063	0,0095	0,1600	0,0050	3,0000
28	0,0687	0,0344	0,0233	0,0070	0,0726	0,0351	0,1600	0,0050	3,0000
30	0,0657	0,0263	0,0225	0,0067	0,0695	0,0271	0,1600	0,0050	3,0000
32	0,0693	0,0208	0,0213	0,0064	0,0725	0,0218	0,1600	0,0050	3,0000
33	0,0697	0,0418	0,0230	0,0069	0,0734	0,0424	0,1600	0,0050	3,0000
35	0,0651	0,0130	0,0247	0,0074	0,0696	0,0150	0,1600	0,0050	3,0000
40	0,0626	0,0000	0,0222	0,0067	0,0664	0,0067	0,1600	0,0050	3,0000
41	0,0675	0,0337	0,0267	0,0080	0,0726	0,0347	0,1600	0,0050	3,0000
43	0,2626	0,1050	0,0908	0,0273	0,2779	0,1085	0,1600	0,0050	3,0000
45	0,0691	0,0207	0,0221	0,0066	0,0725	0,0218	0,1600	0,0050	3,0000
48	0,0684	0,0410	0,0267	0,0080	0,0734	0,0418	0,1600	0,0050	3,0000
49	0,0652	0,0130	0,0244	0,0073	0,0696	0,0150	0,1600	0,0050	3,0000
50	0,0622	0,0000	0,0233	0,0070	0,0664	0,0070	0,1600	0,0050	3,0000
52	0,1090	0,0545	0,0400	0,0120	0,1161	0,0558	0,1600	0,0050	3,0000
54	0,1645	0,0658	0,0558	0,0167	0,1737	0,0679	0,1600	0,0050	3,0000
58	0,2773	0,0832	0,0855	0,0257	0,2902	0,0870	0,1600	0,0050	3,0000
60	0,1049	0,0629	0,0335	0,0101	0,1101	0,0637	0,1600	0,0050	3,0000
61	0,4185	0,0837	0,1314	0,0394	0,4386	0,0925	0,1600	0,0050	3,0000
65	0,6239	0,0000	0,2277	0,0683	0,6641	0,0683	0,1600	0,0050	3,0000
67	0,2706	0,1353	0,1049	0,0315	0,2902	0,1389	0,1600	0,0050	3,0000
70	0,1640	0,0656	0,0572	0,0172	0,1737	0,0678	0,1600	0,0050	3,0000
72	0,1727	0,0518	0,0554	0,0166	0,1813	0,0544	0,1600	0,0050	3,0000
74	0,4366	0,2620	0,1524	0,0457	0,4624	0,2659	0,1600	0,0050	3,0000
77	0,0656	0,0131	0,0233	0,0070	0,0696	0,0149	0,1600	0,0050	3,0000
79	0,1242	0,0000	0,0471	0,0141	0,1328	0,0141	0,1600	0,0050	3,0000
82	0,1095	0,0547	0,0387	0,0116	0,1161	0,0559	0,1600	0,0050	3,0000
84	0,2605	0,1042	0,0968	0,0290	0,2779	0,1082	0,1600	0,0050	3,0000
85	0,0691	0,0207	0,0220	0,0066	0,0725	0,0218	0,1600	0,0050	3,0000
87	0,3413	0,2048	0,1350	0,0405	0,3670	0,2087	0,1600	0,0050	3,0000

Nº do barramento	Carga Ativa (MW)		Carga Reativa (Mvar)		Carga Aparente (MVA)		Custo Alim. Carga (€/MVA)	Custo DR (€/MVA)	Custo PNE (€/MVA)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
88	0,1042	0,0208	0,0394	0,0118	0,1114	0,0240	0,1600	0,0050	3,0000
90	0,1549	0,0000	0,0597	0,0179	0,1660	0,0179	0,1600	0,0050	3,0000
91	0,1702	0,0851	0,0628	0,0188	0,1814	0,0872	0,1600	0,0050	3,0000
93	0,0655	0,0262	0,0233	0,0070	0,0695	0,0271	0,1600	0,0050	3,0000
94	0,5407	0,1622	0,2108	0,0632	0,5803	0,1741	0,1600	0,0050	3,0000
98	0,1708	0,1025	0,0670	0,0201	0,1835	0,1045	0,1600	0,0050	3,0000
99	0,1331	0,0266	0,0409	0,0123	0,1392	0,0293	0,1600	0,0050	3,0000
101	0,0621	0,0000	0,0234	0,0070	0,0664	0,0070	0,1600	0,0050	3,0000
103	0,0684	0,0342	0,0243	0,0073	0,0726	0,0350	0,1600	0,0050	3,0000
105	0,1064	0,0426	0,0322	0,0096	0,1111	0,0436	0,1600	0,0050	3,0000
109	0,0677	0,0203	0,0260	0,0078	0,0725	0,0218	0,1600	0,0050	3,0000
110	0,0682	0,0409	0,0271	0,0081	0,0734	0,0417	0,1600	0,0050	3,0000
113	0,1630	0,0326	0,0610	0,0183	0,1741	0,0374	0,1600	0,0050	3,0000
116	0,1956	0,0000	0,0742	0,0223	0,2092	0,0223	0,1600	0,0050	3,0000
117	0,0686	0,0343	0,0237	0,0071	0,0726	0,0350	0,1600	0,0050	3,0000
118	0,0653	0,0261	0,0237	0,0071	0,0695	0,0271	0,1600	0,0050	3,0000
120	0,0685	0,0205	0,0239	0,0072	0,0725	0,0218	0,1600	0,0050	3,0000
122	0,0683	0,0410	0,0270	0,0081	0,0734	0,0417	0,1600	0,0050	3,0000
124	0,0658	0,0132	0,0229	0,0069	0,0696	0,0148	0,1600	0,0050	3,0000
126	0,0312	0,0000	0,0113	0,0034	0,0332	0,0034	0,1600	0,0050	3,0000
127	0,0692	0,0346	0,0217	0,0065	0,0726	0,0352	0,1600	0,0050	3,0000
129	0,1639	0,0656	0,0574	0,0172	0,1737	0,0678	0,1600	0,0050	3,0000
132	0,2759	0,0828	0,0897	0,0269	0,2902	0,0870	0,1600	0,0050	3,0000
133	0,1091	0,0654	0,0436	0,0131	0,1174	0,0667	0,1600	0,0050	3,0000
135	0,1310	0,0262	0,0472	0,0142	0,1392	0,0298	0,1600	0,0050	3,0000
136	0,0627	0,0000	0,0219	0,0066	0,0664	0,0066	0,1600	0,0050	3,0000
138	0,0688	0,0344	0,0231	0,0069	0,0726	0,0351	0,1600	0,0050	3,0000
140	0,0653	0,0261	0,0236	0,0071	0,0695	0,0271	0,1600	0,0050	3,0000
141	0,1695	0,0509	0,0644	0,0193	0,1813	0,0544	0,1600	0,0050	3,0000
143	0,1112	0,0667	0,0378	0,0113	0,1174	0,0677	0,1600	0,0050	3,0000
144	0,0665	0,0133	0,0206	0,0062	0,0696	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
146	0,1256	0,0000	0,0432	0,0130	0,1328	0,0130	0,1600	0,0050	3,0000
148	0,5392	0,2696	0,2150	0,0645	0,5805	0,2772	0,1600	0,0050	3,0000
149	0,1305	0,0522	0,0478	0,0143	0,1389	0,0541	0,1600	0,0050	3,0000
151	0,1736	0,0521	0,0523	0,0157	0,1813	0,0544	0,1600	0,0050	3,0000
153	0,2185	0,1311	0,0755	0,0227	0,2312	0,1331	0,1600	0,0050	3,0000
154	0,0648	0,0130	0,0255	0,0076	0,0696	0,0150	0,1600	0,0050	3,0000
157	0,0313	0,0000	0,0111	0,0033	0,0332	0,0033	0,1600	0,0050	3,0000
158	0,0680	0,0340	0,0252	0,0076	0,0726	0,0348	0,1600	0,0050	3,0000
160	0,0324	0,0129	0,0126	0,0038	0,0347	0,0135	0,1600	0,0050	3,0000
162	0,0687	0,0206	0,0232	0,0070	0,0725	0,0218	0,1600	0,0050	3,0000
165	0,0699	0,0419	0,0225	0,0067	0,0734	0,0425	0,1600	0,0050	3,0000
167	0,2665	0,0533	0,0808	0,0242	0,2785	0,0586	0,1600	0,0050	3,0000

Nº do barramento	Carga Ativa (MW)		Carga Reativa (Mvar)		Carga Aparente (MVA)		Custo Alim. Carga (€/MVA)	Custo DR (€/MVA)	Custo PNE (€/MVA)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
169	0,0633	0,0000	0,0201	0,0060	0,0664	0,0060	0,1600	0,0050	3,0000
170	0,0688	0,0344	0,0230	0,0069	0,0726	0,0351	0,1600	0,0050	3,0000
173	0,0656	0,0262	0,0230	0,0069	0,0695	0,0271	0,1600	0,0050	3,0000
175	0,2732	0,0820	0,0977	0,0293	0,2902	0,0870	0,1600	0,0050	3,0000
177	0,0686	0,0412	0,0261	0,0078	0,0734	0,0419	0,1600	0,0050	3,0000
179	0,1098	0,0220	0,0417	0,0125	0,1174	0,0253	0,1600	0,0050	3,0000
180	0,0686	0,0000	0,0261	0,0078	0,0734	0,0078	0,1600	0,0050	3,0000

A.2.4 DADOS DA REDE REAL – CARGAS – PERÍODO 2

Tabela 60 - Dados da rede real – Cargas – Período 2

Nº do barramento	Carga Ativa (MW)		Carga Reativa (Mvar)		Carga Aparente (MVA)		Custo Alim. Carga (€/MVA)	Custo DR (€/MVA)	Custo PNE (€/MVA)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
4	0,0337	0,0168	0,0123	0,0037	0,0359	0,0172	0,1600	0,0050	3,0000
8	0,4344	0,1738	0,1589	0,0477	0,4626	0,1802	0,1600	0,0050	3,0000
9	0,0751	0,0225	0,0226	0,0068	0,0784	0,0235	0,1600	0,0050	3,0000
10	0,0832	0,0499	0,0288	0,0086	0,0881	0,0507	0,1600	0,0050	3,0000
12	0,0684	0,0137	0,0266	0,0080	0,0734	0,0158	0,1600	0,0050	3,0000
14	0,0708	0,0000	0,0221	0,0066	0,0742	0,0066	0,1600	0,0050	3,0000
16	0,0686	0,0343	0,0211	0,0063	0,0717	0,0349	0,1600	0,0050	3,0000
20	0,1718	0,0687	0,0647	0,0194	0,1836	0,0714	0,1600	0,0050	3,0000
21	0,1141	0,0342	0,0446	0,0134	0,1225	0,0368	0,1600	0,0050	3,0000
23	0,1309	0,0785	0,0427	0,0128	0,1376	0,0796	0,1600	0,0050	3,0000
24	0,0684	0,0137	0,0266	0,0080	0,0734	0,0158	0,1600	0,0050	3,0000
26	0,1134	0,0000	0,0354	0,0106	0,1188	0,0106	0,1600	0,0050	3,0000
28	0,0679	0,0340	0,0230	0,0069	0,0717	0,0347	0,1600	0,0050	3,0000
30	0,0695	0,0278	0,0238	0,0071	0,0734	0,0287	0,1600	0,0050	3,0000
32	0,0468	0,0141	0,0144	0,0043	0,0490	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
33	0,0523	0,0314	0,0173	0,0052	0,0551	0,0318	0,1600	0,0050	3,0000
35	0,0686	0,0137	0,0261	0,0078	0,0734	0,0158	0,1600	0,0050	3,0000
40	0,0700	0,0000	0,0248	0,0074	0,0742	0,0074	0,1600	0,0050	3,0000
41	0,0667	0,0334	0,0264	0,0079	0,0717	0,0343	0,1600	0,0050	3,0000
43	0,2775	0,1110	0,0960	0,0288	0,2937	0,1147	0,1600	0,0050	3,0000
45	0,0467	0,0140	0,0149	0,0045	0,0490	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
48	0,0513	0,0308	0,0201	0,0060	0,0551	0,0313	0,1600	0,0050	3,0000
49	0,0688	0,0138	0,0257	0,0077	0,0734	0,0158	0,1600	0,0050	3,0000
50	0,0695	0,0000	0,0260	0,0078	0,0742	0,0078	0,1600	0,0050	3,0000
52	0,1077	0,0539	0,0396	0,0119	0,1148	0,0552	0,1600	0,0050	3,0000
54	0,1738	0,0695	0,0590	0,0177	0,1836	0,0717	0,1600	0,0050	3,0000

Nº do barramento	Carga Ativa (<i>MW</i>)		Carga Reativa (<i>Mvar</i>)		Carga Aparente (<i>MVA</i>)		Custo Alim. Carga (<i>€/MVA</i>)	Custo DR (<i>€/MVA</i>)	Custo PNE (<i>€/MVA</i>)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
58	0,1873	0,0562	0,0578	0,0173	0,1960	0,0588	0,1600	0,0050	3,0000
60	0,0787	0,0472	0,0251	0,0075	0,0826	0,0478	0,1600	0,0050	3,0000
61	0,4413	0,0883	0,1385	0,0416	0,4625	0,0976	0,1600	0,0050	3,0000
65	0,6972	0,0000	0,2545	0,0764	0,7423	0,0764	0,1600	0,0050	3,0000
67	0,2675	0,1338	0,1037	0,0311	0,2870	0,1373	0,1600	0,0050	3,0000
70	0,1733	0,0693	0,0605	0,0181	0,1836	0,0717	0,1600	0,0050	3,0000
72	0,1167	0,0350	0,0374	0,0112	0,1225	0,0368	0,1600	0,0050	3,0000
74	0,3275	0,1965	0,1143	0,0343	0,3469	0,1995	0,1600	0,0050	3,0000
77	0,0692	0,0138	0,0246	0,0074	0,0734	0,0157	0,1600	0,0050	3,0000
79	0,1388	0,0000	0,0526	0,0158	0,1485	0,0158	0,1600	0,0050	3,0000
82	0,1082	0,0541	0,0383	0,0115	0,1148	0,0553	0,1600	0,0050	3,0000
84	0,2753	0,1101	0,1023	0,0307	0,2937	0,1143	0,1600	0,0050	3,0000
85	0,0467	0,0140	0,0149	0,0045	0,0490	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
87	0,2560	0,1536	0,1013	0,0304	0,2753	0,1566	0,1600	0,0050	3,0000
88	0,1099	0,0220	0,0415	0,0125	0,1175	0,0253	0,1600	0,0050	3,0000
90	0,1731	0,0000	0,0667	0,0200	0,1856	0,0200	0,1600	0,0050	3,0000
91	0,1683	0,0841	0,0621	0,0186	0,1793	0,0862	0,1600	0,0050	3,0000
93	0,0692	0,0277	0,0246	0,0074	0,0734	0,0286	0,1600	0,0050	3,0000
94	0,3653	0,1096	0,1424	0,0427	0,3921	0,1176	0,1600	0,0050	3,0000
98	0,1281	0,0769	0,0503	0,0151	0,1376	0,0784	0,1600	0,0050	3,0000
99	0,1404	0,0281	0,0431	0,0129	0,1468	0,0309	0,1600	0,0050	3,0000
101	0,0695	0,0000	0,0262	0,0079	0,0742	0,0079	0,1600	0,0050	3,0000
103	0,0676	0,0338	0,0240	0,0072	0,0717	0,0346	0,1600	0,0050	3,0000
105	0,1125	0,0450	0,0340	0,0102	0,1175	0,0461	0,1600	0,0050	3,0000
109	0,0457	0,0137	0,0176	0,0053	0,0490	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
110	0,0512	0,0307	0,0203	0,0061	0,0551	0,0313	0,1600	0,0050	3,0000
113	0,1719	0,0344	0,0644	0,0193	0,1835	0,0394	0,1600	0,0050	3,0000
116	0,2186	0,0000	0,0829	0,0249	0,2338	0,0249	0,1600	0,0050	3,0000
117	0,0678	0,0339	0,0235	0,0070	0,0717	0,0346	0,1600	0,0050	3,0000
118	0,0690	0,0276	0,0251	0,0075	0,0734	0,0286	0,1600	0,0050	3,0000
120	0,0463	0,0139	0,0162	0,0049	0,0490	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
122	0,0512	0,0307	0,0202	0,0061	0,0551	0,0313	0,1600	0,0050	3,0000
124	0,0693	0,0139	0,0241	0,0072	0,0734	0,0156	0,1600	0,0050	3,0000
126	0,0349	0,0000	0,0127	0,0038	0,0371	0,0038	0,1600	0,0050	3,0000
127	0,0684	0,0342	0,0215	0,0064	0,0717	0,0348	0,1600	0,0050	3,0000
129	0,1733	0,0693	0,0606	0,0182	0,1836	0,0716	0,1600	0,0050	3,0000
132	0,1864	0,0559	0,0606	0,0182	0,1960	0,0588	0,1600	0,0050	3,0000
133	0,0818	0,0491	0,0327	0,0098	0,0881	0,0501	0,1600	0,0050	3,0000
135	0,1381	0,0276	0,0498	0,0149	0,1468	0,0314	0,1600	0,0050	3,0000
136	0,0701	0,0000	0,0245	0,0073	0,0742	0,0073	0,1600	0,0050	3,0000
138	0,0680	0,0340	0,0228	0,0068	0,0717	0,0347	0,1600	0,0050	3,0000
140	0,0690	0,0276	0,0250	0,0075	0,0734	0,0286	0,1600	0,0050	3,0000
141	0,1146	0,0344	0,0435	0,0130	0,1225	0,0368	0,1600	0,0050	3,0000

Nº do barramento	Carga Ativa (MW)		Carga Reativa (Mvar)		Carga Aparente (MVA)		Custo Alim. Carga (€/MVA)	Custo DR (€/MVA)	Custo PNE (€/MVA)
	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.	Carga	DR máx.			
143	0,0834	0,0500	0,0284	0,0085	0,0881	0,0508	0,1600	0,0050	3,0000
144	0,0701	0,0140	0,0217	0,0065	0,0734	0,0155	0,1600	0,0050	3,0000
146	0,1404	0,0000	0,0483	0,0145	0,1485	0,0145	0,1600	0,0050	3,0000
148	0,5331	0,2666	0,2125	0,0638	0,5739	0,2741	0,1600	0,0050	3,0000
149	0,1379	0,0552	0,0505	0,0151	0,1468	0,0572	0,1600	0,0050	3,0000
151	0,1173	0,0352	0,0354	0,0106	0,1225	0,0368	0,1600	0,0050	3,0000
153	0,1639	0,0984	0,0567	0,0170	0,1734	0,0998	0,1600	0,0050	3,0000
154	0,0683	0,0137	0,0269	0,0081	0,0734	0,0159	0,1600	0,0050	3,0000
157	0,0350	0,0000	0,0124	0,0037	0,0371	0,0037	0,1600	0,0050	3,0000
158	0,0673	0,0336	0,0249	0,0075	0,0717	0,0345	0,1600	0,0050	3,0000
160	0,0342	0,0137	0,0134	0,0040	0,0367	0,0143	0,1600	0,0050	3,0000
162	0,0464	0,0139	0,0157	0,0047	0,0490	0,0147	0,1600	0,0050	3,0000
165	0,0524	0,0315	0,0168	0,0051	0,0551	0,0319	0,1600	0,0050	3,0000
167	0,2811	0,0562	0,0852	0,0255	0,2937	0,0617	0,1600	0,0050	3,0000
169	0,0707	0,0000	0,0225	0,0068	0,0742	0,0068	0,1600	0,0050	3,0000
170	0,0680	0,0340	0,0227	0,0068	0,0717	0,0347	0,1600	0,0050	3,0000
173	0,0693	0,0277	0,0243	0,0073	0,0734	0,0287	0,1600	0,0050	3,0000
175	0,1846	0,0554	0,0660	0,0198	0,1960	0,0588	0,1600	0,0050	3,0000
177	0,0515	0,0309	0,0196	0,0059	0,0551	0,0314	0,1600	0,0050	3,0000
179	0,0824	0,0165	0,0313	0,0094	0,0881	0,0190	0,1600	0,0050	3,0000
180	0,0515	0,0000	0,0196	0,0059	0,0551	0,0059	0,1600	0,0050	3,0000

A.2.5 DADOS DA REDE REAL – SAE E PVE – PERÍODOS 1 E 2

Tabela 61 - Dados da rede real – Sistemas de armazen. de energia – Períodos 1 e 2

Sistemas de armazenamento de energia						
Nº do barramento	Estado prévio (MVA)	Limites máximos (MVA)		Capacidade (MVA)	Custos (€/MVA)	
		Carregar	Descarregar		Carregar	Descarregar
13	0,3000	0,2000	0,2000	1,0000	0,1100	0,0900
15	0,3000	0,2000	0,2000	1,0000	0,1100	0,0900
18	0,3000	0,2000	0,2000	1,0000	0,1100	0,0900
29	0,3000	0,2000	0,2000	1,0000	0,1100	0,0900
31	0,1500	0,1000	0,1000	0,5000	0,1100	0,0900
34	0,3000	0,2000	0,2000	1,0000	0,1100	0,0900
36	0,1500	0,1000	0,1000	0,5000	0,1100	0,0900

Tabela 62 - Dados da rede real – PVE – Períodos 1 e 2

Parques destinados a carregamento de veículos elétricos						
Nº do barramento	Estado prévio (MVA)	Limites máximos (MVA)		Capacidade (MVA)	Custos (€/MVA)	
		Carregar	Descarregar		Carregar	Descarregar
3	0,0078	0,036	0,036	0,25776	0,12	0,14
69	0,000	0,015	0,015	0,114	0,12	0,14
96	0,0012	0,024	0,024	0,1824	0,12	0,14
107	0,0022	0,027	0,027	0,18936	0,12	0,14
161	0,0053	0,024	0,024	0,1824	0,12	0,14

A.2.6 DADOS DA REDE REAL – CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS

Tabela 63 - Dados da rede real – Características das linhas

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
1	2	0,0230	0,0221	18,8955	13,7700	0,1500
2	3	0,0425	0,0765	23,8680	19,0800	0,2000
2	1	0,0230	0,0221	18,8955	13,7700	0,1500
3	4	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
3	5	0,0425	0,0765	23,8680	19,0800	0,2000
3	2	0,0425	0,0765	23,8680	19,0800	0,2000
4	3	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
5	6	0,1015	0,1624	11,9340	60,9300	0,1500
5	7	0,0637	0,1147	23,8680	19,0800	0,3000
5	3	0,0425	0,0765	23,8680	19,0800	0,2000
6	8	0,0306	0,0295	18,8955	13,7700	0,2000
6	5	0,1015	0,1624	11,9340	60,9300	0,1500
7	10	0,2368	0,3788	11,9340	60,8400	0,3500
7	11	0,0319	0,0573	23,8680	19,0800	0,1500
7	5	0,0637	0,1147	23,8680	19,0800	0,3000
8	9	0,0459	0,0443	18,8955	13,7700	0,3000
8	6	0,0306	0,0295	18,8955	13,7700	0,2000
9	8	0,0459	0,0443	18,8955	13,7700	0,3000
10	7	0,2368	0,3788	11,9340	60,8400	0,3500
11	12	0,1015	0,1624	11,9340	60,9300	0,1500
11	13	0,0319	0,0573	23,8680	19,0800	0,1500
11	7	0,0319	0,0573	23,8680	19,0800	0,1500
12	11	0,1015	0,1624	11,9340	60,9300	0,1500
13	14	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
13	15	0,0319	0,0573	23,8680	19,0800	0,1500
13	11	0,0319	0,0573	23,8680	19,0800	0,1500
14	13	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
15	16	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
15	17	0,0507	0,0812	11,9340	60,9300	0,0750
15	18	0,1274	0,2294	23,8680	19,0800	0,6000
15	13	0,0319	0,0573	23,8680	19,0800	0,1500
16	15	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
17	19	0,1353	0,2165	11,9340	60,8400	0,2000
17	22	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
17	15	0,0508	0,0812	11,9340	60,9300	0,0750
18	25	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
18	29	0,1487	0,2676	23,8680	19,0800	0,7000
18	15	0,1274	0,2294	23,8680	19,0800	0,6000
19	20	0,0383	0,0369	18,8955	13,7700	0,2500
19	17	0,1353	0,2165	11,9340	60,8400	0,2000
20	21	0,0230	0,0221	18,8955	8,2620	0,2500
20	19	0,0383	0,0369	18,8955	13,7700	0,2500
21	20	0,0230	0,0221	18,8955	8,2620	0,2500
22	23	0,1691	0,2706	11,9340	101,7000	0,1500
22	24	0,2030	0,3247	11,9340	90,9000	0,2000
22	17	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
23	121	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
23	22	0,1691	0,2706	11,9340	101,7000	0,1500
24	22	0,2030	0,3247	11,9340	90,9000	0,2000
25	26	0,1353	0,2165	11,9340	60,8400	0,2000
25	27	0,0677	0,1082	11,9340	30,4200	0,2000
25	18	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
26	25	0,1353	0,2165	11,9340	60,8400	0,2000
27	28	0,0153	0,0148	18,8955	13,7700	0,1000
27	25	0,0677	0,1082	11,9340	30,4200	0,2000
28	27	0,0153	0,0148	18,8955	13,7700	0,1000
29	30	0,5265	0,7898	7,9560	474,3000	0,1000
29	31	0,1274	0,2294	23,8680	45,9000	0,2500
29	18	0,1487	0,2676	23,8680	19,0800	0,7000
30	29	0,5265	0,7898	7,9560	474,3000	0,1000
31	32	0,1691	0,2706	11,9340	10,1700	1,5000
31	33	1,0148	1,6236	11,9340	365,4000	0,2500
31	34	0,1593	0,2867	23,8680	19,0800	0,7500
31	29	0,1274	0,2294	23,8680	45,9000	0,2500
32	31	0,1691	0,2706	11,9340	10,1700	1,5000
33	31	1,0148	1,6236	11,9340	365,4000	0,2500
34	35	0,2706	0,4330	11,9340	60,9300	0,4000
34	36	0,1487	0,2676	23,8680	19,0800	0,7000
34	31	0,1593	0,2867	23,8680	19,0800	0,7500
35	34	0,2706	0,4330	11,9340	60,9300	0,4000
36	37	0,2250	0,3825	15,9120	33,7500	0,6000
36	95	0,8746	1,3118	8,9505	98,1000	0,8000

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
36	34	0,1487	0,2676	23,8680	19,0800	0,7000
37	38	0,0956	0,1720	23,8680	19,0800	0,4500
37	36	0,2250	0,3825	15,9120	33,7500	0,6000
38	39	0,3044	0,4871	11,9340	54,8100	0,5000
38	42	0,0319	0,0573	23,8680	8,1900	0,3500
38	37	0,0956	0,1720	23,8680	19,0800	0,4500
39	40	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
39	41	0,2030	0,3247	11,9340	40,5900	0,4500
39	38	0,3044	0,4871	11,9340	54,8100	0,5000
40	39	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
41	39	0,2030	0,3247	11,9340	40,5900	0,4500
42	43	0,0677	0,1082	11,9340	60,9300	0,1000
42	44	0,1381	0,2485	23,8680	19,0800	0,6500
42	38	0,0319	0,0573	23,8680	8,1900	0,3500
43	42	0,0677	0,1082	11,9340	60,9300	0,1000
44	45	0,0677	0,1082	11,9340	60,9300	0,1000
44	46	0,0850	0,1529	23,8680	19,0800	0,4000
44	42	0,1381	0,2485	23,8680	19,0800	0,6500
45	44	0,0677	0,1082	11,9340	60,9300	0,1000
46	47	0,1691	0,2706	11,9340	152,1000	0,1000
46	50	0,1015	0,1624	11,9340	90,9000	0,1000
46	51	0,1313	0,2231	15,9120	29,5200	0,4000
46	44	0,0850	0,1529	23,8680	19,0800	0,4000
47	48	0,1015	0,1624	11,9340	36,5400	0,2500
47	49	0,1353	0,2165	11,9340	81,1800	0,1500
47	46	0,1691	0,2706	11,9340	152,1000	0,1000
48	47	0,1015	0,1624	11,9340	36,5400	0,2500
49	47	0,1353	0,2165	11,9340	81,1800	0,1500
50	46	0,1015	0,1624	11,9340	90,9000	0,1000
51	52	0,7020	1,0530	7,9560	105,3000	0,6000
51	53	0,1313	0,2231	15,9120	33,7500	0,3500
51	46	0,1312	0,2231	15,9120	29,5200	0,4000
52	51	0,7020	1,0530	7,9560	105,3000	0,6000
53	54	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
53	55	0,1500	0,2550	15,9120	33,7500	0,4000
53	51	0,1312	0,2231	15,9120	33,7500	0,3500
54	53	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
55	56	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
55	61	0,7020	1,0530	7,9560	252,9000	0,2500
55	62	0,2063	0,3506	15,9120	46,4400	0,4000
55	53	0,1500	0,2550	15,9120	33,7500	0,4000
56	57	0,1015	0,1624	11,9340	15,2100	0,6000
56	59	0,2368	0,3788	11,9340	71,0100	0,3000

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
56	55	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
57	58	0,0383	0,0369	18,8955	5,7420	0,6000
57	56	0,1015	0,1624	11,9340	15,2100	0,6000
58	57	0,0383	0,0369	18,8955	5,7420	0,6000
59	60	0,0670	0,0401	13,9230	17,1900	0,3500
59	56	0,2368	0,3788	11,9340	71,0100	0,3000
60	59	0,0670	0,0401	13,9230	17,1900	0,3500
61	55	0,7020	1,0530	7,9560	252,9000	0,2500
62	63	0,4680	0,7020	7,9560	168,3000	0,2500
62	68	0,2250	0,3825	15,9120	81,0000	0,2500
62	55	0,2063	0,3506	15,9120	46,4400	0,4000
63	64	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
63	66	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
63	62	0,4680	0,7020	7,9560	168,3000	0,2500
64	65	0,0938	0,0561	13,9230	24,1200	0,3500
64	63	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
65	64	0,0938	0,0561	13,9230	24,1200	0,3500
66	67	0,0938	0,0561	13,9230	21,0600	0,4000
66	63	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
67	66	0,0938	0,0561	13,9230	21,0600	0,4000
68	69	0,2706	0,4330	11,9340	69,5700	0,3500
68	92	0,3510	0,5265	7,9560	70,2000	0,4500
68	62	0,2250	0,3825	15,9120	81,0000	0,2500
69	70	0,0938	0,0561	13,9230	24,1200	0,3500
69	71	0,2368	0,3788	11,9340	60,8400	0,3500
69	68	0,2706	0,4330	11,9340	69,5700	0,3500
70	69	0,0938	0,0561	13,9230	24,1200	0,3500
71	72	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
71	73	0,3044	0,4871	11,9340	78,3000	0,3500
71	69	0,2368	0,3788	11,9340	60,8400	0,3500
72	71	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
73	74	0,2144	0,1282	13,9230	55,1700	0,3500
73	71	0,3044	0,4871	11,9340	78,3000	0,3500
74	75	0,1608	0,0961	13,9230	41,3100	0,3500
74	73	0,2144	0,1282	13,9230	55,1700	0,3500
75	76	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
75	74	0,1608	0,0961	13,9230	41,3100	0,3500
76	77	0,2340	0,3510	7,9560	26,3700	0,8000
76	78	0,4095	0,6143	7,9560	61,4700	0,6000
76	75	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
77	76	0,2340	0,3510	7,9560	26,3700	0,8000
78	79	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
78	80	0,4095	0,6143	7,9560	184,5000	0,2000
78	76	0,4095	0,6143	7,9560	61,4700	0,6000

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
79	78	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
80	81	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
80	83	0,3510	0,5265	7,9560	105,3000	0,3000
80	86	0,2925	0,4388	7,9560	75,2400	0,3500
80	78	0,4095	0,6143	7,9560	184,5000	0,2000
81	82	0,0689	0,0664	18,8955	20,7000	0,3000
81	80	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
82	174	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
82	81	0,0689	0,0664	18,8955	20,7000	0,3000
83	84	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
83	85	0,0459	0,0443	18,8955	16,5600	0,2500
83	80	0,3510	0,5265	7,9560	105,3000	0,3000
84	83	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
85	83	0,0459	0,0443	18,8955	16,5600	0,2500
86	87	0,2340	0,3510	7,9560	60,2100	0,3500
86	88	0,2030	0,3247	11,9340	90,9000	0,2000
86	89	0,4680	0,7020	7,9560	120,6000	0,3500
86	80	0,2925	0,4388	7,9560	75,2400	0,3500
87	86	0,2340	0,3510	7,9560	60,2100	0,3500
88	86	0,2030	0,3247	11,9340	90,9000	0,2000
89	90	0,3510	0,5265	7,9560	105,3000	0,3000
89	91	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
89	86	0,4680	0,7020	7,9560	120,6000	0,3500
90	89	0,3510	0,5265	7,9560	105,3000	0,3000
91	133	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
91	89	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
92	93	0,4095	0,6143	7,9560	123,3000	0,3000
92	94	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
92	68	0,3510	0,5265	7,9560	42,1200	0,7500
93	92	0,4095	0,6143	7,9560	123,3000	0,3000
94	92	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
95	96	0,3383	0,5412	11,9340	101,7000	0,3000
95	36	0,8746	1,3118	8,9505	98,1000	0,8000
96	97	0,2340	0,3510	7,9560	105,3000	0,2000
96	100	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
96	95	0,3382	0,5412	11,9340	101,7000	0,3000
97	98	0,1691	0,2706	11,9340	76,1400	0,2000
97	99	0,1755	0,2633	7,9560	79,0200	0,2000
97	96	0,2340	0,3510	7,9560	105,3000	0,2000
98	97	0,1691	0,2706	11,9340	76,1400	0,2000
99	97	0,1755	0,2633	7,9560	79,0200	0,2000
100	101	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
100	102	0,3383	0,5412	11,9340	203,4000	0,1500

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
100	96	0,2030	0,3247	11,9340	60,9300	0,3000
101	100	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
102	103	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
102	104	0,3383	0,5412	11,9340	60,8400	0,5000
102	100	0,3382	0,5412	11,9340	202,5000	0,1500
103	102	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
104	105	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
104	106	0,5074	0,8118	11,9340	90,9000	0,5000
104	102	0,3382	0,5412	11,9340	60,8400	0,5000
105	104	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
106	107	0,3510	0,5265	7,9560	126,0000	0,2500
106	128	0,3044	0,4871	11,9340	36,5400	0,7500
106	142	0,8775	1,3163	7,9560	105,3000	0,7500
106	104	0,5074	0,8118	11,9340	90,9000	0,5000
107	108	0,4095	0,6143	7,9560	147,6000	0,2500
107	111	0,4095	0,6143	7,9560	49,1400	0,7500
107	106	0,3510	0,5265	7,9560	126,0000	0,2500
108	109	0,1353	0,2165	11,9340	40,5900	0,3000
108	110	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
108	107	0,4095	0,6143	7,9560	147,6000	0,2500
109	108	0,1353	0,2165	11,9340	40,5900	0,3000
110	108	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
111	112	0,2925	0,4388	7,9560	75,2400	0,3500
111	114	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
111	107	0,4095	0,6143	7,9560	49,1400	0,7500
112	113	0,1015	0,1624	11,9340	45,6300	0,2000
112	115	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
112	111	0,2925	0,4388	7,9560	75,2400	0,3500
113	112	0,1015	0,1624	11,9340	45,6300	0,2000
114	117	0,1353	0,2165	11,9340	34,8300	0,3500
114	118	0,1353	0,2165	11,9340	81,1800	0,1500
114	119	0,5850	0,8775	7,9560	175,5000	0,3000
114	111	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
115	116	0,0938	0,0561	13,9230	33,7500	0,2500
115	112	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
116	115	0,0938	0,0561	13,9230	33,7500	0,2500
117	114	0,1353	0,2165	11,9340	34,8300	0,3500
118	114	0,1353	0,2165	11,9340	81,1800	0,1500
119	120	0,2925	0,4388	7,9560	75,2400	0,3500
119	121	0,6435	0,9653	7,9560	165,6000	0,3500
119	114	0,5850	0,8775	7,9560	175,5000	0,3000
120	119	0,2925	0,4388	7,9560	75,2400	0,3500
121	122	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
121	123	0,4680	0,7020	7,9560	76,5900	0,5500

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
121	23	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
121	119	0,6435	0,9653	7,9560	165,6000	0,3500
122	121	0,1691	0,2706	11,9340	60,9300	0,2500
123	124	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
123	125	0,4397	0,7036	11,9340	71,9100	0,5500
123	121	0,4680	0,7020	7,9560	76,5900	0,5500
124	123	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
125	126	0,1353	0,2165	11,9340	48,6900	0,2500
125	127	0,1691	0,2706	11,9340	38,0700	0,4000
125	123	0,4397	0,7036	11,9340	71,9100	0,5500
126	125	0,1353	0,2165	11,9340	48,6900	0,2500
127	125	0,1691	0,2706	11,9340	38,0700	0,4000
128	129	0,2368	0,3788	11,9340	32,7600	0,6500
128	130	0,8775	1,3163	7,9560	395,1000	0,2000
128	106	0,3044	0,4871	11,9340	36,5400	0,7500
129	128	0,2368	0,3788	11,9340	32,7600	0,6500
130	131	0,4095	0,6143	7,9560	184,5000	0,2000
130	134	0,6435	0,9653	7,9560	165,6000	0,3500
130	128	0,8775	1,3163	7,9560	395,1000	0,2000
131	132	0,2340	0,3510	7,9560	60,2100	0,3500
131	133	0,1691	0,2706	11,9340	27,7200	0,5500
131	130	0,4095	0,6143	7,9560	184,5000	0,2000
132	131	0,2340	0,3510	7,9560	60,2100	0,3500
133	91	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
133	131	0,1691	0,2706	11,9340	27,7200	0,5500
134	135	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
134	136	0,1015	0,1624	11,9340	36,5400	0,2500
134	137	0,5265	0,7898	7,9560	236,7000	0,2000
134	130	0,6435	0,9653	7,9560	165,6000	0,3500
135	134	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
136	134	0,1015	0,1624	11,9340	36,5400	0,2500
137	138	0,2340	0,3510	7,9560	84,2400	0,2500
137	139	0,4680	0,7020	7,9560	280,8000	0,1500
137	134	0,5265	0,7898	7,9560	236,7000	0,2000
138	169	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
138	137	0,2340	0,3510	7,9560	84,2400	0,2500
139	140	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
139	141	0,2340	0,3510	7,9560	140,4000	0,1500
139	137	0,4680	0,7020	7,9560	280,8000	0,1500
140	139	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
141	139	0,2340	0,3510	7,9560	140,4000	0,1500
142	143	0,2706	0,4330	11,9340	97,2000	0,2500
142	144	0,2030	0,3247	11,9340	90,9000	0,2000

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
142	145	0,9360	1,4040	7,9560	210,6000	0,4000
142	106	0,8775	1,3163	7,9560	105,3000	0,7500
143	142	0,2706	0,4330	11,9340	97,2000	0,2500
144	142	0,2030	0,3247	11,9340	90,9000	0,2000
145	146	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
145	147	0,5265	0,7898	7,9560	105,3000	0,4500
145	150	0,6435	0,9653	7,9560	105,3000	0,5500
145	142	0,9360	1,4040	7,9560	210,6000	0,4000
146	145	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
147	148	0,1015	0,1624	11,9340	36,5400	0,2500
147	149	0,2340	0,3510	7,9560	46,8000	0,4500
147	145	0,5265	0,7898	7,9560	105,3000	0,4500
148	147	0,1015	0,1624	11,9340	36,5400	0,2500
149	147	0,2340	0,3510	7,9560	46,8000	0,4500
150	151	0,2340	0,3510	7,9560	140,4000	0,1500
150	152	0,7020	1,0530	7,9560	315,9000	0,2000
150	155	0,7605	1,1408	7,9560	105,3000	0,6500
150	145	0,6435	0,9653	7,9560	105,3000	0,5500
151	150	0,2340	0,3510	7,9560	140,4000	0,1500
152	153	0,2340	0,3510	7,9560	105,3000	0,2000
152	154	0,2340	0,3510	7,9560	35,1000	0,6000
152	150	0,7020	1,0530	7,9560	315,9000	0,2000
153	152	0,2340	0,3510	7,9560	105,3000	0,2000
154	152	0,2340	0,3510	7,9560	35,1000	0,6000
155	156	0,6435	0,9653	7,9560	289,8000	0,2000
155	159	0,5265	0,7898	7,9560	86,1300	0,5500
155	161	0,5265	0,7898	7,9560	105,3000	0,4500
155	150	0,7605	1,1408	7,9560	105,3000	0,6500
156	157	0,2368	0,3788	11,9340	106,2000	0,2000
156	158	0,2925	0,4388	7,9560	58,5000	0,4500
156	155	0,6435	0,9653	7,9560	289,8000	0,2000
157	156	0,2368	0,3788	11,9340	106,2000	0,2000
158	156	0,2925	0,4388	7,9560	58,5000	0,4500
159	160	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
159	155	0,5265	0,7898	7,9560	86,1300	0,5500
160	159	0,1691	0,2706	11,9340	33,8400	0,4500
161	162	0,2340	0,3510	7,9560	60,2100	0,3500
161	163	0,4680	0,7020	7,9560	168,3000	0,2500
161	155	0,5265	0,7898	7,9560	105,3000	0,4500
162	161	0,2340	0,3510	7,9560	60,2100	0,3500
163	164	0,7605	1,1408	7,9560	342,0000	0,2000
163	171	0,5265	0,7898	7,9560	118,8000	0,4000
163	161	0,4680	0,7020	7,9560	168,3000	0,2500
164	165	0,2925	0,4388	7,9560	65,7900	0,4000

Nº Barramento de saída	Nº Barramento de entrada	Resistência (Ω)	Reactância (Ω)	Limites (MVA)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	Comprimento (km)
164	166	0,4680	0,7020	7,9560	64,8000	0,6500
164	163	0,7605	1,1408	7,9560	342,0000	0,2000
165	164	0,2925	0,4388	7,9560	65,7900	0,4000
166	167	0,2925	0,4388	7,9560	58,5000	0,4500
166	168	0,2368	0,3788	11,9340	85,2300	0,2500
166	164	0,4680	0,7020	7,9560	64,8000	0,6500
167	166	0,2925	0,4388	7,9560	58,5000	0,4500
168	169	0,2368	0,3788	11,9340	53,2800	0,4000
168	170	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
168	166	0,2368	0,3788	11,9340	85,2300	0,2500
169	138	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
169	168	0,2368	0,3788	11,9340	53,2800	0,4000
170	168	0,2030	0,3247	11,9340	73,0800	0,2500
171	172	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
171	176	0,7020	1,0530	7,9560	252,9000	0,2500
171	163	0,5265	0,7898	7,9560	118,8000	0,4000
172	173	0,1691	0,2706	11,9340	50,7600	0,3000
172	174	0,4680	0,7020	7,9560	120,6000	0,3500
172	171	0,4095	0,6143	7,9560	105,3000	0,3500
173	172	0,1691	0,2706	11,9340	50,7600	0,3000
174	175	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
174	82	0,5265	0,7898	13,9230	67,6800	0,7000
174	172	0,4680	0,7020	7,9560	120,6000	0,3500
175	174	0,2925	0,4388	7,9560	105,3000	0,2500
176	177	0,1691	0,2706	11,9340	38,0700	0,4000
176	178	0,6435	0,9653	7,9560	231,3000	0,2500
176	171	0,7020	1,0530	7,9560	252,9000	0,2500
177	176	0,1691	0,2706	11,9340	38,0700	0,4000
178	179	0,4095	0,6143	7,9560	36,9000	1,0000
178	180	0,3510	0,5265	7,9560	126,0000	0,2500
178	176	0,6435	0,9653	7,9560	231,3000	0,2500
179	178	0,4095	0,6143	7,9560	36,9000	1,0000
180	178	0,3510	0,5265	7,9560	126,0000	0,2500

A.2.7 REDE REAL – RESULTADOS: TOPOLOGIA INICIAL – PERÍODO 1

A.2.7.1 CUSTOS GERAIS

Tabela 64 - Rede real – Custos gerais – Topologia inicial (P.1)

Custos (€)								
Subproblema	<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Mestre	954,7557	0,0000	577,7149	0,0000	108,0000	0,0000	4,5947	1645,0654
Escravo	1544,5320	0,0000	619,5954	0,0000	108,0000	0,0000	15,7187	2287,8461

A.2.7.2 PRODUÇÕES

Tabela 65 - Rede real – Produções – Topologia inicial (P.1)

Barramento	Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
1	2,0000	2,0000	2,9753	3,5851
2	0,2773	0,2598	0,0971	0,2773
3	0,1210	0,0015	0,0000	0,0015
3	0,0233	0,1149	0,0425	0,1225
5	0,0081	0,1133	0,0425	0,1210
5	0,2740	0,0697	0,0425	0,0816
6	0,0344	0,2563	0,0971	0,2740
7	0,1988	0,0076	0,0028	0,0081
7	0,0233	0,0033	0,0012	0,0035
8	0,0338	0,1858	0,0708	0,1988
9	0,0339	0,0033	0,0012	0,0035
10	0,0228	0,1630	0,0708	0,1777
11	0,2021	0,1639	0,0708	0,1786
11	0,0343	0,1139	0,0425	0,1216
12	0,0335	0,0313	0,0425	0,0528
13	0,1225	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0344	0,0033	0,0012	0,0036
15	0,0341	0,1893	0,0708	0,2021
16	0,0341	0,0233	0,0000	0,0233
17	0,0336	0,0344	0,0000	0,0344
18	0,0335	0,0233	0,0000	0,0233
21	0,0232	0,0338	0,0000	0,0338
23	0,0340	0,0339	0,0000	0,0339
25	0,0344	0,0228	0,0000	0,0228
27	0,0339	0,0343	0,0000	0,0343
29	0,0340	0,0335	0,0000	0,0335
31	0,0338	0,0344	0,0000	0,0344

	Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
33	0,0734	0,0341	0,0000	0,0341
37	0,0335	0,0341	0,0000	0,0341
39	0,0338	0,0336	0,0000	0,0336
41	0,0335	0,0335	0,0000	0,0335
43	0,0343	0,0232	0,0000	0,0232
45	0,0334	0,0340	0,0000	0,0340
47	0,0081	0,0344	0,0000	0,0344
49	0,0341	0,0339	0,0000	0,0339
51	0,0343	0,0340	0,0000	0,0340
53	0,0343	0,0338	0,0000	0,0338
55	0,0338	0,0335	0,0000	0,0335
57	0,0035	0,0338	0,0000	0,0338
59	0,0338	0,0335	0,0000	0,0335
61	0,0344	0,0343	0,0000	0,0343
63	0,0343	0,0334	0,0000	0,0334
64	0,0336	0,0341	0,0000	0,0341
65	0,0337	0,0343	0,0000	0,0343
66	0,0340	0,0343	0,0000	0,0343
67	0,0336	0,0338	0,0000	0,0338
68	0,0342	0,0338	0,0000	0,0338
69	0,0234	0,0344	0,0000	0,0344
70	0,0229	0,0343	0,0000	0,0343
71	0,0233	0,0336	0,0000	0,0336
72	0,0230	0,0337	0,0000	0,0337
73	0,0232	0,0340	0,0000	0,0340
74	0,0232	0,0336	0,0000	0,0336
75	0,0234	0,0342	0,0000	0,0342
76	0,0229	0,0234	0,0000	0,0234
78	0,0228	0,0229	0,0000	0,0229
79	0,0230	0,0233	0,0000	0,0233
80	0,0231	0,0230	0,0000	0,0230
81	0,0234	0,0232	0,0000	0,0232
82	0,0230	0,0232	0,0000	0,0232
83	0,0229	0,0234	0,0000	0,0234
84	0,0230	0,0229	0,0000	0,0229
85	0,0231	0,0228	0,0000	0,0228
86	0,0233	0,0230	0,0000	0,0230
87	0,0234	0,0231	0,0000	0,0231
88	0,0035	0,0234	0,0000	0,0234
89	0,0339	0,0230	0,0000	0,0230
91	0,0231	0,0229	0,0000	0,0229
93	0,0232	0,0230	0,0000	0,0230
95	0,0233	0,0231	0,0000	0,0231
97	0,0231	0,0233	0,0000	0,0233

	Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
99	0,0337	0,0234	0,0000	0,0234
101	0,0258	0,0339	0,0000	0,0339
103	0,0234	0,0231	0,0000	0,0231
105	0,0231	0,0232	0,0000	0,0232
107	0,0229	0,0233	0,0000	0,0233
109	0,0341	0,0231	0,0000	0,0231
111	0,0231	0,0337	0,0000	0,0337
113	0,1741	0,0258	0,0000	0,0258
115	0,0337	0,0234	0,0000	0,0234
117	0,0335	0,0231	0,0000	0,0231
119	0,0231	0,0229	0,0000	0,0229
121	0,0231	0,0341	0,0000	0,0341
123	0,0232	0,0231	0,0000	0,0231
125	0,0343	0,0337	0,0000	0,0337
127	0,0233	0,0335	0,0000	0,0335
129	0,1737	0,0231	0,0000	0,0231
131	0,0228	0,0231	0,0000	0,0231
133	0,0233	0,0232	0,0000	0,0232
135	0,0229	0,0343	0,0000	0,0343
137	0,0232	0,0233	0,0000	0,0233
139	0,0233	0,0228	0,0000	0,0228
141	0,0230	0,0233	0,0000	0,0233
143	0,0229	0,0229	0,0000	0,0229
145	0,0229	0,0232	0,0000	0,0232
147	0,0233	0,0233	0,0000	0,0233
148	0,0233	0,0230	0,0000	0,0230
149	0,0234	0,0229	0,0000	0,0229
150	0,0228	0,0229	0,0000	0,0229
151	0,0231	0,0233	0,0000	0,0233
152	0,0227	0,0233	0,0000	0,0233
153	0,0339	0,0234	0,0000	0,0234
154	0,0338	0,0228	0,0000	0,0228
155	0,1216	0,0231	0,0000	0,0231
156	0,0228	0,0227	0,0000	0,0227
157	0,0332	0,0339	0,0000	0,0339
158	0,0232	0,0338	0,0000	0,0338
159	0,0000	0,0228	0,0000	0,0228
160	0,0229	0,0232	0,0000	0,0232
161	0,0340	0,0229	0,0000	0,0229
162	0,0231	0,0340	0,0000	0,0340
163	0,0228	0,0231	0,0000	0,0231
164	0,0343	0,0228	0,0000	0,0228
165	0,0338	0,0343	0,0000	0,0343
166	0,0335	0,0338	0,0000	0,0338

	Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
167	0,0036	0,0335	0,0000	0,0335
173	0,0231	0,0231	0,0000	0,0231
Total	6,5645	6,4462	3,6716	8,1793

A.2.7.3 DEMAND RESPONSE

Tabela 66 - Rede real – Demand Response – Topologia inicial (P.1)

Barramento	Mestre (MVA)	Escravo (MVA)
4	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000
12	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000
16	0,0000	0,0000
20	0,0000	0,0000
21	0,0000	0,0000
23	0,0000	0,0000
24	0,0000	0,0000
26	0,0000	0,0000
28	0,0000	0,0000
30	0,0000	0,0000
32	0,0000	0,0000
33	0,0000	0,0000
35	0,0000	0,0000
40	0,0067	0,0000
41	0,0347	0,0000
43	0,1085	0,0000
45	0,0218	0,0000
48	0,0418	0,0000
49	0,0150	0,0000
50	0,0070	0,0000
52	0,0558	0,0545
54	0,0679	0,0658
58	0,0870	0,0832
60	0,0637	0,0629
61	0,0925	0,0837
65	0,0683	0,0000
67	0,1389	0,1353
70	0,0678	0,0656
72	0,0544	0,0518

Barramento	Mestre (MVA)	Escravo (MVA)
74	0,2659	0,2620
77	0,0149	0,0131
79	0,0141	0,0000
82	0,0559	0,0547
84	0,1082	0,1042
85	0,0218	0,0207
87	0,2087	0,2048
88	0,0240	0,0208
90	0,0179	0,0000
91	0,0872	0,0851
93	0,0271	0,0262
94	0,1741	0,1622
98	0,0000	0,0000
99	0,0000	0,0000
101	0,0000	0,0000
103	0,0350	0,0000
105	0,0206	0,0000
109	0,0218	0,0203
110	0,0417	0,0409
113	0,0000	0,0000
116	0,0223	0,0000
117	0,0350	0,0135
118	0,0271	0,0261
120	0,0218	0,0000
122	0,0000	0,0000
124	0,0000	0,0000
126	0,0000	0,0000
127	0,0000	0,0000
129	0,0000	0,0000
132	0,0870	0,0828
133	0,0667	0,0654
135	0,0298	0,0262
136	0,0066	0,0000
138	0,0351	0,0344
140	0,0271	0,0261
141	0,0544	0,0509
143	0,0677	0,0667
144	0,0147	0,0133
146	0,0130	0,0000
148	0,2772	0,2696
149	0,0541	0,0522
151	0,0544	0,0521
153	0,1331	0,1311
154	0,0150	0,0130
157	0,0000	0,0000

Barramento	Mestre (<i>MVA</i>)	Escravo (<i>MVA</i>)
158	0,0267	0,0221
160	0,0119	0,0095
162	0,0218	0,0206
165	0,0396	0,0361
167	0,0586	0,0533
169	0,0060	0,0000
170	0,0351	0,0344
173	0,0271	0,0262
175	0,0870	0,0820
177	0,0419	0,0412
179	0,0253	0,0220
180	0,0078	0,0000
Total	3,5013	2,8886

A.2.7.4 DESCARGA DO SAE

Tabela 67 - Rede real – Descarga do SAE – Topologia inicial (P.1)

Barramento	Mestre (<i>MVA</i>)	Escravo (<i>MVA</i>)
13	0,2000	0,2000
15	0,2000	0,2000
18	0,2000	0,2000
29	0,2000	0,2000
31	0,1000	0,1000
34	0,2000	0,2000
36	0,1000	0,1000

A.2.7.5 ALIMENTADOR

Tabela 68 - Rede real – Alimentador – Topologia inicial (P.1)

Alimentador	Mestre	Escravo		
	S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
Produção	2,0000	2,0000	2,9749	3,5851
Trânsito B1 - B2	4,0000	4,0000	2,9749	4,9850

A.2.7.6 FLUXOS DE POTÊNCIA

Tabela 69 - Rede real – Fluxos de potência – Topologia inicial (P.1)

B. Saída	B. Chegada	Mestre	Escravo		
		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
1	2	4,0000	4,0000	2,9885	4,9931
2	3	4,2772	4,2591	3,0849	5,2589
3	4	0,0363	0,0341	0,0125	0,0363
3	5	4,3851	4,3604	3,1124	5,3572
5	6	0,4517	0,4201	0,1839	0,4586
5	7	4,2154	4,1952	3,0259	5,1726
6	8	0,4860	0,4545	0,1838	0,4903
8	9	0,0821	0,0772	0,0335	0,0842
7	10	0,0946	0,0882	0,0384	0,0962
7	11	4,3429	4,3143	3,0547	5,2862
11	12	0,0362	0,0314	0,0252	0,0403
11	13	4,5430	4,5054	3,0984	5,4680
13	14	0,0321	0,0290	0,0198	0,0351
13	15	4,8333	4,7902	3,1190	5,7161
15	16	0,0384	0,0352	0,0213	0,0411
15	17	2,4975	2,3908	1,3031	2,7229
15	18	2,5313	2,5971	1,7925	3,1556
17	19	0,3319	0,3083	0,1274	0,3336
19	20	0,3318	0,3082	0,1272	0,3334
20	21	0,1582	0,1457	0,0660	0,1600
17	22	2,1992	2,1157	1,1749	2,4200
22	23	2,1294	2,0495	1,1475	2,3489
22	24	0,0696	0,0649	0,0252	0,0696
18	25	0,1107	0,1019	0,0552	0,1159
25	26	0,1063	0,1014	0,0317	0,1062
25	27	0,0387	0,0348	0,0234	0,0419
27	28	0,0726	0,0687	0,0233	0,0725
18	29	2,6540	2,7273	1,7346	3,2322
29	30	0,0695	0,0657	0,0225	0,0694
29	31	2,8184	2,8938	1,7089	3,3607
31	32	0,0725	0,0693	0,0213	0,0725
31	33	0,0000	0,0000	-0,0194	0,0194
31	34	2,8796	2,9567	1,7040	3,4126
34	35	0,0696	0,0651	0,0247	0,0696
34	36	3,0099	3,0895	1,6755	3,5146
36	37	2,7443	2,7987	1,4828	3,1672
37	38	2,7777	2,8296	1,4784	3,1925
38	39	0,0305	0,0628	0,0490	0,0797
39	40	0,0598	0,0626	0,0222	0,0664
39	41	0,0044	0,0340	0,0267	0,0432
38	42	2,7471	2,7657	1,4273	3,1123

B. Saída	B. Chegada	Mestre	Escravo		
		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
42	43	0,1350	0,2283	0,0909	0,2457
42	44	2,6120	2,5370	1,3357	2,8671
44	45	0,0173	0,0357	0,0221	0,0420
44	46	2,5945	2,5001	1,3113	2,8231
46	47	0,0442	0,0919	0,0484	0,1039
47	48	0,0316	0,0684	0,0267	0,0734
47	49	0,0206	0,0311	0,0244	0,0395
46	50	0,0594	0,0622	0,0233	0,0664
46	51	2,4908	2,3452	1,2381	2,6520
51	52	0,0603	0,0545	0,0237	0,0594
51	53	2,4647	2,3240	1,2125	2,6213
53	54	0,1058	0,0987	0,0361	0,1051
53	55	2,3931	2,2586	1,1746	2,5458
55	56	0,2124	0,1989	0,0743	0,2123
56	57	0,1997	0,1908	0,0594	0,1998
57	58	0,2031	0,1941	0,0606	0,2033
56	59	0,0127	0,0081	0,0148	0,0169
59	60	0,0464	0,0420	0,0147	0,0445
55	61	0,3117	0,3005	0,1064	0,3188
55	62	1,9027	1,7919	0,9920	2,0482
62	63	0,5783	0,5905	0,2930	0,6592
63	64	0,5286	0,5568	0,2281	0,6017
64	65	0,5621	0,5902	0,2278	0,6326
63	66	0,0839	0,0678	0,0644	0,0935
66	67	0,1178	0,1017	0,0643	0,1203
62	68	1,3243	1,2004	0,6972	1,3882
68	69	0,9329	0,8394	0,5184	0,9866
69	70	0,0829	0,0755	0,0375	0,0843
69	71	0,8733	0,7871	0,4803	0,9221
71	72	0,1040	0,0979	0,0399	0,1057
71	73	0,7925	0,7122	0,4399	0,8371
73	74	0,8155	0,7351	0,4394	0,8564
74	75	0,6422	0,5835	0,3655	0,6885
75	76	0,6655	0,6068	0,3654	0,7083
76	77	0,0548	0,0525	0,0194	0,0560
76	78	0,6336	0,5771	0,3458	0,6728
78	79	0,0957	0,1012	0,0471	0,1116
78	80	0,5606	0,4985	0,2982	0,5809
80	81	0,2364	0,2159	0,1109	0,2427
81	82	0,2596	0,2392	0,1108	0,2636
80	83	0,1517	0,1358	0,0814	0,1583
83	84	0,1467	0,1333	0,0655	0,1485
83	85	0,0277	0,0253	0,0158	0,0298
80	86	0,1956	0,1699	0,1056	0,2000

		Mestre	Escravo		
B. Saída	B. Chegada	S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
86	87	0,1349	0,1131	0,0736	0,1349
86	88	0,0839	0,0801	0,0319	0,0862
91	89	0,1143	0,1210	0,0598	0,1350
89	90	0,1481	0,1549	0,0597	0,1660
133	91	0,1854	0,1830	0,0971	0,2072
68	92	0,4255	0,3947	0,1779	0,4329
92	93	0,0192	0,0161	0,0154	0,0223
92	94	0,4062	0,3785	0,1622	0,4118
36	95	0,3655	0,3888	0,1888	0,4322
95	96	0,3887	0,4119	0,1885	0,4530
96	97	0,2661	0,2472	0,1080	0,2698
97	98	0,1835	0,1708	0,0670	0,1835
97	99	0,1055	0,0994	0,0409	0,1075
96	100	0,1225	0,1646	0,0802	0,1831
100	101	0,0406	0,0363	0,0234	0,0432
100	102	0,0818	0,1283	0,0567	0,1403
102	103	0,0142	0,0449	0,0243	0,0511
102	104	0,0675	0,0833	0,0323	0,0893
104	105	0,0674	0,0833	0,0322	0,0893
107	106	1,6043	1,5033	0,8265	1,7155
111	107	1,6300	1,5225	0,8636	1,7504
107	108	0,0485	0,0406	0,0348	0,0535
108	109	0,0167	0,0133	0,0199	0,0239
108	110	0,0317	0,0273	0,0148	0,0311
114	111	1,7604	1,6629	0,9309	1,9057
111	112	0,1534	0,1619	0,0647	0,1743
112	113	0,0000	0,0000	-0,0098	0,0098
119	114	1,8069	1,7263	0,9727	1,9815
112	115	0,1533	0,1619	0,0743	0,1781
115	116	0,1869	0,1956	0,0742	0,2092
114	117	0,0040	0,0216	0,0219	0,0308
114	118	0,0424	0,0392	0,0159	0,0423
121	119	1,8347	1,7746	1,0013	2,0376
119	120	0,0508	0,0685	0,0239	0,0725
23	121	1,9799	1,9080	1,0888	2,1968
121	122	0,0734	0,0683	0,0270	0,0734
121	123	0,0948	0,0854	0,0561	0,1022
123	124	0,0696	0,0658	0,0229	0,0697
123	125	0,0483	0,0429	0,0332	0,0542
125	126	0,0332	0,0312	0,0113	0,0332
125	127	0,0492	0,0459	0,0217	0,0508
106	128	0,7755	0,7401	0,3602	0,8231
128	129	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
128	130	0,7754	0,7398	0,3597	0,8226

B. Saída	B. Chegada	Mestre	Escravo		
		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
130	131	0,3933	0,3738	0,1863	0,4177
131	132	0,2031	0,1932	0,0649	0,2038
131	133	0,2129	0,2034	0,1211	0,2367
130	134	0,3820	0,3653	0,1724	0,4039
134	135	0,0866	0,0819	0,0393	0,0908
134	136	0,0598	0,0627	0,0219	0,0664
134	137	0,2355	0,2205	0,1109	0,2468
137	138	0,1354	0,1321	0,0457	0,1398
137	139	0,1231	0,1116	0,0650	0,1291
139	140	0,0424	0,0392	0,0158	0,0423
139	141	0,1039	0,0957	0,0491	0,1076
106	142	0,8287	0,7621	0,4644	0,8924
142	143	0,0269	0,0216	0,0178	0,0280
142	144	0,0550	0,0532	0,0166	0,0557
142	145	0,7468	0,6865	0,4287	0,8094
145	146	0,1199	0,1256	0,0432	0,1328
145	147	0,3182	0,2780	0,1664	0,3240
147	148	0,2799	0,2463	0,1341	0,2804
147	149	0,0615	0,0549	0,0321	0,0636
145	150	0,3315	0,3051	0,2179	0,3749
150	151	0,1039	0,0985	0,0367	0,1051
150	152	0,0625	0,0489	0,0579	0,0758
152	153	0,0643	0,0536	0,0362	0,0647
152	154	0,0208	0,0181	0,0216	0,0282
150	155	0,1879	0,1805	0,1231	0,2185
156	158	0,0227	0,0228	-0,0127	0,0261
156	157	0,0000	0,0000	-0,0314	0,0314
156	158	0,0000	0,0000	0,0186	0,0186
155	159	0,0001	0,0000	0,0099	0,0099
159	160	0,0000	0,0000	0,0098	0,0098
155	161	0,3093	0,2944	0,1682	0,3391
161	162	0,0276	0,0250	0,0170	0,0302
161	163	0,3156	0,3034	0,1510	0,3389
163	164	0,1487	0,1421	0,0754	0,1609
164	165	0,0000	0,0000	0,0116	0,0116
164	166	0,1829	0,1764	0,0637	0,1875
166	167	0,2164	0,2099	0,0635	0,2193
169	168	0,0376	0,0344	0,0128	0,0367
138	169	0,0979	0,0977	0,0329	0,1031
168	170	0,0375	0,0344	0,0127	0,0367
163	171	0,1896	0,1840	0,0754	0,1988
174	172	0,0193	0,0162	0,0152	0,0222
172	173	0,0192	0,0162	0,0151	0,0221
82	174	0,2225	0,2075	0,0884	0,2255

		Mestre	Escravo		
B. Saída	B. Chegada	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
174	175	0,2031	0,1913	0,0731	0,2048
171	176	0,1895	0,1840	0,0752	0,1988
176	177	0,0315	0,0274	0,0137	0,0306
176	178	0,1579	0,1565	0,0613	0,1681
178	179	0,0922	0,0878	0,0351	0,0946
178	180	0,0656	0,0686	0,0261	0,0734

A.2.7.7 TENSÃO, ÂNGULO E POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA INJETADAS NOS BARRAMENTOS

Tabela 70 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – T.I. (P.1)

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
1	30000,0000	0,0000	4,0000	2,9753
2	29994,7434	0,0000	0,2598	0,0970
3	29980,8815	-0,0002	0,1366	0,0424
4	29980,5768	-0,0002	-0,0341	-0,0125
5	29966,7996	-0,0005	0,2563	0,0970
6	29964,3805	-0,0005	0,0344	-0,0001
7	29946,3606	-0,0008	0,2091	0,0707
8	29963,7352	-0,0005	-0,3772	-0,1503
9	29963,5674	-0,0005	-0,0772	-0,0335
10	29945,1776	-0,0008	-0,0881	-0,0384
11	29935,9518	-0,0010	0,2236	0,0707
12	29935,7085	-0,0010	-0,0314	-0,0252
13	29925,2522	-0,0011	0,3149	0,0424
14	29924,9090	-0,0011	-0,0290	-0,0198
15	29914,2062	-0,0013	0,2341	-0,0001
16	29913,7357	-0,0013	-0,0352	-0,0213
17	29906,6585	-0,0015	0,0336	-0,0001
18	29889,3995	-0,0017	0,2335	-0,0001
19	29904,3421	-0,0015	0,0000	-0,0001
20	29903,7908	-0,0015	-0,1625	-0,0612
21	29903,6300	-0,0015	-0,1457	-0,0660
22	29879,7204	-0,0020	0,0000	-0,0001
23	29857,8742	-0,0024	-0,1405	-0,0569
24	29879,0055	-0,0020	-0,0649	-0,0252
25	29887,5929	-0,0018	0,0344	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
26	29886,9044	-0,0018	-0,1014	-0,0317
27	29887,4295	-0,0018	0,0339	-0,0001
28	29887,3828	-0,0018	-0,0687	-0,0233
29	29860,3056	-0,0023	0,2340	-0,0001
30	29858,5520	-0,0023	-0,0657	-0,0225
31	29834,8308	-0,0028	0,1338	-0,0001
32	29834,2444	-0,0028	-0,0693	-0,0213
33	29835,8889	-0,0028	0,0000	0,0194
34	29802,6729	-0,0034	0,2000	-0,0001
35	29801,7228	-0,0034	-0,0651	-0,0247
36	29772,2209	-0,0041	0,1000	-0,0001
37	29732,0302	-0,0049	0,0335	-0,0001
38	29714,3815	-0,0053	0,0000	-0,0001
39	29712,9354	-0,0053	0,0338	-0,0001
40	29712,2656	-0,0053	-0,0626	-0,0222
41	29712,4113	-0,0053	-0,0340	-0,0267
42	29708,6617	-0,0054	0,0000	-0,0001
43	29707,8108	-0,0054	-0,2283	-0,0908
44	29685,7024	-0,0059	0,0000	-0,0001
45	29685,5407	-0,0059	-0,0357	-0,0221
46	29671,7936	-0,0062	0,0000	-0,0001
47	29670,8286	-0,0063	0,0076	0,0027
48	29670,4485	-0,0063	-0,0684	-0,0267
49	29670,5090	-0,0063	-0,0311	-0,0244
50	29671,4534	-0,0062	-0,0622	-0,0233
51	29652,1120	-0,0066	0,0343	-0,0001
52	29649,9811	-0,0067	-0,0545	-0,0237
53	29632,7036	-0,0071	0,0343	-0,0001
54	29631,1954	-0,0071	-0,0987	-0,0361
55	29611,1657	-0,0075	0,0338	-0,0001
56	29608,9876	-0,0076	0,0000	-0,0001
57	29608,0079	-0,0076	0,0033	0,0011
58	29607,6816	-0,0076	-0,1941	-0,0606
59	29608,7337	-0,0076	0,0338	-0,0001
60	29608,6189	-0,0076	-0,0420	-0,0147
61	29600,2605	-0,0078	-0,3004	-0,1062
62	29586,9423	-0,0080	0,0000	-0,0001
63	29570,6510	-0,0083	0,0343	-0,0001
64	29558,2034	-0,0086	0,0336	-0,0001
65	29555,8985	-0,0086	-0,5901	-0,2277
66	29569,6737	-0,0083	0,0340	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
67	29569,2289	-0,0083	-0,1017	-0,0643
68	29568,8022	-0,0083	0,0342	-0,0001
69	29553,5307	-0,0086	0,0234	-0,0001
70	29553,2200	-0,0086	-0,0755	-0,0375
71	29541,0688	-0,0088	0,0233	-0,0001
72	29538,8824	-0,0089	-0,0979	-0,0399
73	29526,4767	-0,0090	0,0232	-0,0001
74	29519,2311	-0,0090	-0,1515	-0,0738
75	29514,8623	-0,0090	0,0234	-0,0001
76	29508,0353	-0,0092	0,0229	-0,0001
77	29507,3887	-0,0092	-0,0525	-0,0194
78	29492,8293	-0,0094	0,0228	-0,0001
79	29491,6146	-0,0094	-0,1012	-0,0471
80	29479,6965	-0,0096	0,0231	-0,0001
81	29474,3877	-0,0097	0,0234	-0,0001
82	29473,5792	-0,0097	-0,0317	-0,0223
83	29476,6259	-0,0097	0,0229	-0,0001
84	29473,4089	-0,0097	-0,1333	-0,0655
85	29476,5628	-0,0097	-0,0253	-0,0158
86	29476,4392	-0,0097	0,0233	-0,0001
87	29474,6650	-0,0097	-0,1131	-0,0736
88	29475,5368	-0,0097	-0,0800	-0,0319
89	29479,8673	-0,0091	0,0339	-0,0001
90	29476,9560	-0,0092	-0,1549	-0,0597
91	29481,9583	-0,0091	-0,0620	-0,0373
92	29560,9504	-0,0085	0,0000	-0,0001
93	29560,4072	-0,0085	-0,0161	-0,0154
94	29554,7972	-0,0086	-0,3785	-0,1622
95	29752,4825	-0,0045	0,0233	-0,0001
96	29744,3719	-0,0046	0,0000	-0,0001
97	29741,1526	-0,0047	0,0231	-0,0001
98	29739,5714	-0,0047	-0,1708	-0,0670
99	29740,2043	-0,0047	-0,0994	-0,0409
100	29742,3729	-0,0047	0,0000	-0,0001
101	29741,9531	-0,0047	-0,0363	-0,0234
102	29739,8825	-0,0047	0,0000	-0,0001
103	29739,4056	-0,0047	-0,0449	-0,0243
104	29738,3477	-0,0048	0,0000	-0,0001
105	29737,5812	-0,0048	-0,0833	-0,0322
106	29550,5126	-0,0077	0,0000	-0,0001
107	29582,8148	-0,0072	0,0229	-0,0001
108	29581,5293	-0,0072	0,0000	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
109	29581,3223	-0,0072	-0,0133	-0,0199
110	29581,2381	-0,0072	-0,0273	-0,0148
111	29621,4838	-0,0065	0,0231	-0,0001
112	29618,9272	-0,0065	0,0000	-0,0001
113	29618,9807	-0,0065	0,0000	0,0098
114	29663,4300	-0,0057	0,0000	-0,0001
115	29617,0032	-0,0066	0,0337	-0,0001
116	29616,2432	-0,0066	-0,1956	-0,0742
117	29663,1881	-0,0057	-0,0216	-0,0197
118	29663,1352	-0,0058	-0,0392	-0,0159
119	29725,6350	-0,0047	0,0231	-0,0001
120	29724,6078	-0,0047	-0,0685	-0,0239
121	29795,8655	-0,0034	0,0231	-0,0001
122	29795,2328	-0,0035	-0,0683	-0,0270
123	29793,2017	-0,0035	0,0232	-0,0001
124	29792,2194	-0,0035	-0,0658	-0,0229
125	29791,7859	-0,0035	0,0343	-0,0001
126	29791,5617	-0,0035	-0,0312	-0,0113
127	29791,3280	-0,0035	-0,0459	-0,0217
128	29537,1739	-0,0080	0,0000	-0,0001
129	29537,3461	-0,0080	0,0000	0,0134
130	29499,1727	-0,0088	0,0000	-0,0001
131	29490,1053	-0,0090	0,0228	-0,0001
132	29487,7999	-0,0090	-0,1931	-0,0649
133	29487,8277	-0,0090	-0,0203	-0,0240
134	29485,5651	-0,0091	0,0000	-0,0001
135	29484,1671	-0,0091	-0,0819	-0,0393
136	29485,2288	-0,0091	-0,0627	-0,0219
137	29478,6581	-0,0092	0,0232	-0,0001
138	29477,0656	-0,0092	-0,0344	-0,0127
139	29475,3385	-0,0092	0,0233	-0,0001
140	29474,9686	-0,0093	-0,0392	-0,0158
141	29473,9943	-0,0093	-0,0957	-0,0491
142	29507,2030	-0,0084	0,0000	-0,0001
143	29506,7438	-0,0084	-0,0216	-0,0178
144	29506,6544	-0,0084	-0,0532	-0,0166
145	29465,0340	-0,0091	0,0229	-0,0001
146	29463,1437	-0,0091	-0,1256	-0,0432
147	29455,6071	-0,0092	0,0233	-0,0001
148	29454,0195	-0,0092	-0,2463	-0,1341
149	29454,7881	-0,0092	-0,0549	-0,0321

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
150	29451,2307	-0,0092	0,0228	-0,0001
151	29450,0109	-0,0093	-0,0985	-0,0367
152	29447,9945	-0,0093	0,0227	-0,0001
153	29447,1374	-0,0093	-0,0536	-0,0362
154	29447,5934	-0,0093	-0,0181	-0,0216
155	29441,8029	-0,0094	0,1139	0,0424
156	29442,2191	-0,0094	0,0228	-0,0001
157	29442,6231	-0,0094	0,0000	0,0314
158	29441,7157	-0,0094	-0,0228	-0,0186
159	29441,5373	-0,0094	0,0000	-0,0001
160	29441,4472	-0,0094	0,0000	-0,0098
161	29432,0276	-0,0095	0,0340	-0,0001
162	29431,6262	-0,0095	-0,0250	-0,0170
163	29423,6033	-0,0097	0,0228	-0,0001
164	29417,0063	-0,0098	0,0343	-0,0001
165	29416,8330	-0,0098	0,0000	-0,0116
166	29412,6811	-0,0099	0,0335	-0,0001
167	29409,6461	-0,0100	-0,2099	-0,0635
168	29473,9975	-0,0093	0,0000	-0,0001
169	29474,4382	-0,0093	-0,0633	-0,0201
170	29473,6209	-0,0093	-0,0344	-0,0127
171	29418,2890	-0,0098	0,0000	-0,0001
172	29466,8832	-0,0099	0,0000	-0,0001
173	29466,6514	-0,0099	-0,0162	-0,0151
174	29467,5029	-0,0099	0,0000	-0,0001
175	29464,5162	-0,0099	-0,1913	-0,0731
176	29411,2074	-0,0100	0,0000	-0,0001
177	29410,9233	-0,0100	-0,0274	-0,0137
178	29405,7708	-0,0101	0,0000	-0,0001
179	29403,8137	-0,0102	-0,0878	-0,0351
180	29404,4848	-0,0101	-0,0686	-0,0261

A.2.8 REDE REAL – RESULTADOS: SIMULAÇÃO 1

A.2.8.1 CUSTOS GERAIS

Tabela 71 - Rede real – Custos gerais – Simulação 1 (P.1)

		Custos (€)							
		<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Inicial	M.	954,7557	0,0000	577,7149	0,0000	108,0000	0,0000	4,5947	1645,0654
	E.	1544,5320	0,0000	619,5954	0,0000	108,0000	0,0000	15,7187	2287,8461
Falha 23-121	M.	954,7557	0,0000	577,7149	0,0000	108,0000	0,0000	5,9026	1646,3733
	E.	1548,7672	0,0000	622,9865	0,0000	108,0000	0,0000	21,1536	2300,9073

A.2.8.2 PRODUÇÕES

Tabela 72 - Rede real – Produções – Simulação 1 (P.1)

Barramento	Inicial				Falha 23-121			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	<i>S (MVA)</i>	<i>P (MW)</i>	<i>Q (Mvar)</i>	<i>S (MVA)</i>	<i>S (MVA)</i>	<i>P (MW)</i>	<i>Q (Mvar)</i>	<i>S (MVA)</i>
1	2,0000	2,0000	2,9753	3,5851	2,0000	2,0000	3,0001	3,6056
2	0,2773	0,2598	0,0971	0,2773	0,2773	0,2598	0,0971	0,2773
3	0,1210	0,0015	0,0000	0,0015	0,1210	0,0015	0,0000	0,0015
3	0,0233	0,1149	0,0425	0,1225	0,0233	0,1149	0,0425	0,1225
5	0,0081	0,1133	0,0425	0,1210	0,0081	0,1133	0,0425	0,1210
5	0,2740	0,0697	0,0425	0,0816	0,2740	0,0697	0,0425	0,0816
6	0,0344	0,2563	0,0971	0,2740	0,0344	0,2563	0,0971	0,2740
7	0,1988	0,0076	0,0028	0,0081	0,1988	0,0076	0,0028	0,0081
7	0,0233	0,0033	0,0012	0,0035	0,0233	0,0033	0,0012	0,0035
8	0,0338	0,1858	0,0708	0,1988	0,0338	0,1858	0,0708	0,1988
9	0,0339	0,0033	0,0012	0,0035	0,0339	0,0033	0,0012	0,0035
10	0,0228	0,1630	0,0708	0,1777	0,0228	0,1630	0,0708	0,1777
11	0,2021	0,1639	0,0708	0,1786	0,2021	0,1639	0,0708	0,1786
11	0,0343	0,1139	0,0425	0,1216	0,0343	0,1139	0,0425	0,1216
12	0,0335	0,0313	0,0425	0,0528	0,0335	0,0313	0,0425	0,0528
13	0,1225	0,0000	0,0000	0,0000	0,1225	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0344	0,0033	0,0012	0,0036	0,0344	0,0033	0,0012	0,0036
15	0,0341	0,1893	0,0708	0,2021	0,0341	0,1893	0,0708	0,2021
16	0,0341	0,0233	0,0000	0,0233	0,0341	0,0233	0,0000	0,0233
17	0,0336	0,0344	0,0000	0,0344	0,0336	0,0344	0,0000	0,0344
18	0,0335	0,0233	0,0000	0,0233	0,0335	0,0233	0,0000	0,0233
21	0,0232	0,0338	0,0000	0,0338	0,0232	0,0338	0,0000	0,0338
23	0,0340	0,0339	0,0000	0,0339	0,0340	0,0339	0,0000	0,0339
25	0,0344	0,0228	0,0000	0,0228	0,0344	0,0228	0,0000	0,0228

Barramento	Inicial				Falha 23-121			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
27	0,0339	0,0343	0,0000	0,0343	0,0339	0,0343	0,0000	0,0343
29	0,0340	0,0335	0,0000	0,0335	0,0340	0,0335	0,0000	0,0335
31	0,0338	0,0344	0,0000	0,0344	0,0338	0,0344	0,0000	0,0344
33	0,0734	0,0341	0,0000	0,0341	0,0734	0,0341	0,0000	0,0341
37	0,0335	0,0341	0,0000	0,0341	0,0335	0,0341	0,0000	0,0341
39	0,0338	0,0336	0,0000	0,0336	0,0338	0,0336	0,0000	0,0336
41	0,0335	0,0335	0,0000	0,0335	0,0335	0,0335	0,0000	0,0335
43	0,0343	0,0232	0,0000	0,0232	0,0343	0,0232	0,0000	0,0232
45	0,0334	0,0340	0,0000	0,0340	0,0334	0,0340	0,0000	0,0340
47	0,0081	0,0344	0,0000	0,0344	0,0081	0,0344	0,0000	0,0344
49	0,0341	0,0339	0,0000	0,0339	0,0341	0,0339	0,0000	0,0339
51	0,0343	0,0340	0,0000	0,0340	0,0343	0,0340	0,0000	0,0340
53	0,0343	0,0338	0,0000	0,0338	0,0343	0,0338	0,0000	0,0338
55	0,0338	0,0335	0,0000	0,0335	0,0338	0,0335	0,0000	0,0335
57	0,0035	0,0338	0,0000	0,0338	0,0035	0,0338	0,0000	0,0338
59	0,0338	0,0335	0,0000	0,0335	0,0338	0,0335	0,0000	0,0335
61	0,0344	0,0343	0,0000	0,0343	0,0344	0,0343	0,0000	0,0343
63	0,0343	0,0334	0,0000	0,0334	0,0343	0,0334	0,0000	0,0334
64	0,0336	0,0341	0,0000	0,0341	0,0336	0,0341	0,0000	0,0341
65	0,0337	0,0343	0,0000	0,0343	0,0337	0,0343	0,0000	0,0343
66	0,0340	0,0343	0,0000	0,0343	0,0340	0,0343	0,0000	0,0343
67	0,0336	0,0338	0,0000	0,0338	0,0336	0,0338	0,0000	0,0338
68	0,0342	0,0338	0,0000	0,0338	0,0342	0,0338	0,0000	0,0338
69	0,0234	0,0344	0,0000	0,0344	0,0234	0,0344	0,0000	0,0344
70	0,0229	0,0343	0,0000	0,0343	0,0229	0,0343	0,0000	0,0343
71	0,0233	0,0336	0,0000	0,0336	0,0233	0,0336	0,0000	0,0336
72	0,0230	0,0337	0,0000	0,0337	0,0230	0,0337	0,0000	0,0337
73	0,0232	0,0340	0,0000	0,0340	0,0232	0,0340	0,0000	0,0340
74	0,0232	0,0336	0,0000	0,0336	0,0232	0,0336	0,0000	0,0336
75	0,0234	0,0342	0,0000	0,0342	0,0234	0,0342	0,0000	0,0342
76	0,0229	0,0234	0,0000	0,0234	0,0229	0,0234	0,0000	0,0234
78	0,0228	0,0229	0,0000	0,0229	0,0228	0,0229	0,0000	0,0229
79	0,0230	0,0233	0,0000	0,0233	0,0230	0,0233	0,0000	0,0233
80	0,0231	0,0230	0,0000	0,0230	0,0231	0,0230	0,0000	0,0230
81	0,0234	0,0232	0,0000	0,0232	0,0234	0,0232	0,0000	0,0232
82	0,0230	0,0232	0,0000	0,0232	0,0230	0,0232	0,0000	0,0232
83	0,0229	0,0234	0,0000	0,0234	0,0229	0,0234	0,0000	0,0234
84	0,0230	0,0229	0,0000	0,0229	0,0230	0,0229	0,0000	0,0229
85	0,0231	0,0228	0,0000	0,0228	0,0231	0,0228	0,0000	0,0228
86	0,0233	0,0230	0,0000	0,0230	0,0233	0,0230	0,0000	0,0230
87	0,0234	0,0231	0,0000	0,0231	0,0234	0,0231	0,0000	0,0231
88	0,0035	0,0234	0,0000	0,0234	0,0035	0,0234	0,0000	0,0234
89	0,0339	0,0230	0,0000	0,0230	0,0339	0,0230	0,0000	0,0230

Barramento	Inicial				Falha 23-121			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
91	0,0231	0,0229	0,0000	0,0229	0,0231	0,0229	0,0000	0,0229
93	0,0232	0,0230	0,0000	0,0230	0,0232	0,0230	0,0000	0,0230
95	0,0233	0,0231	0,0000	0,0231	0,0233	0,0231	0,0000	0,0231
97	0,0231	0,0233	0,0000	0,0233	0,0231	0,0233	0,0000	0,0233
99	0,0337	0,0234	0,0000	0,0234	0,0337	0,0234	0,0000	0,0234
101	0,0258	0,0339	0,0000	0,0339	0,0258	0,0339	0,0000	0,0339
103	0,0234	0,0231	0,0000	0,0231	0,0234	0,0231	0,0000	0,0231
105	0,0231	0,0232	0,0000	0,0232	0,0231	0,0232	0,0000	0,0232
107	0,0229	0,0233	0,0000	0,0233	0,0229	0,0233	0,0000	0,0233
109	0,0341	0,0231	0,0000	0,0231	0,0341	0,0231	0,0000	0,0231
111	0,0231	0,0337	0,0000	0,0337	0,0231	0,0337	0,0000	0,0337
113	0,1741	0,0258	0,0000	0,0258	0,1741	0,0258	0,0000	0,0258
115	0,0337	0,0234	0,0000	0,0234	0,0337	0,0234	0,0000	0,0234
117	0,0335	0,0231	0,0000	0,0231	0,0335	0,0231	0,0000	0,0231
119	0,0231	0,0229	0,0000	0,0229	0,0231	0,0229	0,0000	0,0229
121	0,0231	0,0341	0,0000	0,0341	0,0231	0,0341	0,0000	0,0341
123	0,0232	0,0231	0,0000	0,0231	0,0232	0,0231	0,0000	0,0231
125	0,0343	0,0337	0,0000	0,0337	0,0343	0,0337	0,0000	0,0337
127	0,0233	0,0335	0,0000	0,0335	0,0233	0,0335	0,0000	0,0335
129	0,1737	0,0231	0,0000	0,0231	0,1737	0,0231	0,0000	0,0231
131	0,0228	0,0231	0,0000	0,0231	0,0228	0,0231	0,0000	0,0231
133	0,0233	0,0232	0,0000	0,0232	0,0233	0,0232	0,0000	0,0232
135	0,0229	0,0343	0,0000	0,0343	0,0229	0,0343	0,0000	0,0343
137	0,0232	0,0233	0,0000	0,0233	0,0232	0,0233	0,0000	0,0233
139	0,0233	0,0228	0,0000	0,0228	0,0233	0,0228	0,0000	0,0228
141	0,0230	0,0233	0,0000	0,0233	0,0230	0,0233	0,0000	0,0233
143	0,0229	0,0229	0,0000	0,0229	0,0229	0,0229	0,0000	0,0229
145	0,0229	0,0232	0,0000	0,0232	0,0229	0,0232	0,0000	0,0232
147	0,0233	0,0233	0,0000	0,0233	0,0233	0,0233	0,0000	0,0233
148	0,0233	0,0230	0,0000	0,0230	0,0233	0,0230	0,0000	0,0230
149	0,0234	0,0229	0,0000	0,0229	0,0234	0,0229	0,0000	0,0229
150	0,0228	0,0229	0,0000	0,0229	0,0228	0,0229	0,0000	0,0229
151	0,0231	0,0233	0,0000	0,0233	0,0231	0,0233	0,0000	0,0233
152	0,0227	0,0233	0,0000	0,0233	0,0227	0,0233	0,0000	0,0233
153	0,0339	0,0234	0,0000	0,0234	0,0339	0,0234	0,0000	0,0234
154	0,0338	0,0228	0,0000	0,0228	0,0338	0,0228	0,0000	0,0228
155	0,1216	0,0231	0,0000	0,0231	0,1216	0,0231	0,0000	0,0231
156	0,0228	0,0227	0,0000	0,0227	0,0228	0,0227	0,0000	0,0227
157	0,0332	0,0339	0,0000	0,0339	0,0332	0,0339	0,0000	0,0339
158	0,0232	0,0338	0,0000	0,0338	0,0232	0,0338	0,0000	0,0338
159	0,0000	0,0228	0,0000	0,0228	0,0000	0,0228	0,0000	0,0228
160	0,0229	0,0232	0,0000	0,0232	0,0229	0,0232	0,0000	0,0232
161	0,0340	0,0229	0,0000	0,0229	0,0340	0,0229	0,0000	0,0229

	Inicial				Falha 23-121			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
162	0,0231	0,0340	0,0000	0,0340	0,0231	0,0340	0,0000	0,0340
163	0,0228	0,0231	0,0000	0,0231	0,0228	0,0231	0,0000	0,0231
164	0,0343	0,0228	0,0000	0,0228	0,0343	0,0228	0,0000	0,0228
165	0,0338	0,0343	0,0000	0,0343	0,0338	0,0343	0,0000	0,0343
166	0,0335	0,0338	0,0000	0,0338	0,0335	0,0338	0,0000	0,0338
167	0,0036	0,0335	0,0000	0,0335	0,0036	0,0335	0,0000	0,0335
173	0,0231	0,0231	0,0000	0,0231	0,0231	0,0231	0,0000	0,0231
Total	6,5645	6,4462	3,6716	8,1793	6,5645	6,4462	3,6964	8,1998

A.2.8.3 DEMAND RESPONSE

Tabela 73 - Rede real – Demand Response – Simulação 1 (P.1)

Barramento	Inicial (MVA)		Falha 23-121 (MVA)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
26	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
32	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
40	0,0067	0,0000	0,0000	0,0000
41	0,0347	0,0000	0,0000	0,0000
43	0,1085	0,0000	0,0000	0,0000
45	0,0218	0,0000	0,0000	0,0000
48	0,0418	0,0000	0,0000	0,0000
49	0,0150	0,0000	0,0000	0,0000
50	0,0070	0,0000	0,0000	0,0000
52	0,0558	0,0545	0,0338	0,0000
54	0,0679	0,0658	0,0679	0,0000

Barramento	Inicial (MVA)		Falha 23-121 (MVA)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
58	0,0870	0,0832	0,0870	0,0790
60	0,0637	0,0629	0,0637	0,0000
61	0,0925	0,0837	0,0925	0,0837
65	0,0683	0,0000	0,0683	0,0000
67	0,1389	0,1353	0,1389	0,1353
70	0,0678	0,0656	0,0678	0,0656
72	0,0544	0,0518	0,0544	0,0518
74	0,2659	0,2620	0,2659	0,2620
77	0,0149	0,0131	0,0149	0,0131
79	0,0141	0,0000	0,0141	0,0000
82	0,0559	0,0547	0,0559	0,0547
84	0,1082	0,1042	0,1082	0,1042
85	0,0218	0,0207	0,0218	0,0207
87	0,2087	0,2048	0,2087	0,2048
88	0,0240	0,0208	0,0240	0,0208
90	0,0179	0,0000	0,0179	0,0000
91	0,0872	0,0851	0,0872	0,0851
93	0,0271	0,0262	0,0271	0,0262
94	0,1741	0,1622	0,1741	0,1622
98	0,0000	0,0000	0,1045	0,0000
99	0,0000	0,0000	0,0293	0,0000
101	0,0000	0,0000	0,0070	0,0000
103	0,0350	0,0000	0,0350	0,0342
105	0,0206	0,0000	0,0436	0,0426
109	0,0218	0,0203	0,0218	0,0203
110	0,0417	0,0409	0,0417	0,0409
113	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
116	0,0223	0,0000	0,0223	0,0000
117	0,0350	0,0135	0,0350	0,0343
118	0,0271	0,0261	0,0271	0,0261
120	0,0218	0,0000	0,0218	0,0205
122	0,0000	0,0000	0,0417	0,0410
124	0,0000	0,0000	0,0148	0,0132
126	0,0000	0,0000	0,0034	0,0000
127	0,0000	0,0000	0,0352	0,0346
129	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
132	0,0870	0,0828	0,0870	0,0828
133	0,0667	0,0654	0,0667	0,0654
135	0,0298	0,0262	0,0298	0,0262
136	0,0066	0,0000	0,0066	0,0000
138	0,0351	0,0344	0,0351	0,0344
140	0,0271	0,0261	0,0271	0,0261
141	0,0544	0,0509	0,0544	0,0509
143	0,0677	0,0667	0,0677	0,0667

	Inicial (<i>MVA</i>)		Falha 23-121 (<i>MVA</i>)	
Barramento	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
144	0,0147	0,0133	0,0147	0,0133
146	0,0130	0,0000	0,0130	0,0000
148	0,2772	0,2696	0,2772	0,2696
149	0,0541	0,0522	0,0541	0,0522
151	0,0544	0,0521	0,0544	0,0521
153	0,1331	0,1311	0,1331	0,1311
154	0,0150	0,0130	0,0150	0,0130
157	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
158	0,0267	0,0221	0,0267	0,0221
160	0,0119	0,0095	0,0102	0,0058
162	0,0218	0,0206	0,0218	0,0206
165	0,0396	0,0361	0,0396	0,0361
167	0,0586	0,0533	0,0586	0,0533
169	0,0060	0,0000	0,0060	0,0000
170	0,0351	0,0344	0,0351	0,0344
173	0,0271	0,0262	0,0271	0,0262
175	0,0870	0,0820	0,0870	0,0820
177	0,0419	0,0412	0,0419	0,0412
179	0,0253	0,0220	0,0253	0,0220
180	0,0078	0,0000	0,0078	0,0000
Total	3,5013	2,8886	3,5013	2,9044

A.2.8.4 DESCARGA DO SAE

Tabela 74 - Rede real – Descarga do SAE – Simulação 1 (P.1)

	Inicial (<i>MVA</i>)		Falha 23-121 (<i>MVA</i>)	
Barramento	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
13	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
15	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
18	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
29	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
31	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
34	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
36	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000

A.2.8.5 ALIMENTADOR

Tabela 75 - Rede real – Alimentador – Simulação 1 (P.1)

Alimentador	Inicial				Falha 23-121			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
Produção	2,0000	2,0000	2,9753	3,5851	2,0000	2,0000	3,0001	3,6056
Trânsito B1 - B2	4,0000	4,0000	2,9885	4,9931	4,0000	4,0000	3,0001	5,0001

A.2.8.6 FLUXOS DE POTÊNCIA

Tabela 76 - Rede real – Fluxos de potência – Simulação 1 (P.1)

		Inicial						Falha 23-121			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)	Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
1	2	4,0000	4,0000	2,9885	4,9931	1	2	4,0000	4,0000	3,0001	5,0001
2	3	4,2772	4,2591	3,0849	5,2589	2	3	4,2772	4,2591	3,0965	5,2658
3	4	0,0363	0,0341	0,0125	0,0363	3	4	0,0363	0,0341	0,0125	0,0363
3	5	4,3851	4,3604	3,1124	5,3572	3	5	4,3851	4,3603	3,1240	5,3639
5	6	0,4517	0,4201	0,1839	0,4586	5	6	0,4517	0,4201	0,1839	0,4586
5	7	4,2154	4,1952	3,0259	5,1726	5	7	4,2154	4,1951	3,0346	5,1776
6	8	0,4860	0,4545	0,1838	0,4903	6	8	0,4860	0,4545	0,1838	0,4903
8	9	0,0821	0,0772	0,0335	0,0842	8	9	0,0821	0,0772	0,0335	0,0842
7	10	0,0946	0,0882	0,0384	0,0962	7	10	0,0946	0,0882	0,0384	0,0962
7	11	4,3429	4,3143	3,0547	5,2862	7	11	4,3429	4,3142	3,0635	5,2913
11	12	0,0362	0,0314	0,0252	0,0403	11	12	0,0362	0,0314	0,0252	0,0403
11	13	4,5430	4,5054	3,0984	5,4680	11	13	4,5430	4,5054	3,1071	5,4729
13	14	0,0321	0,0290	0,0198	0,0351	13	14	0,0321	0,0290	0,0198	0,0351
13	15	4,8333	4,7902	3,1190	5,7161	13	15	4,8333	4,7901	3,1278	5,7209
15	16	0,0384	0,0352	0,0213	0,0411	15	16	0,0384	0,0352	0,0213	0,0411
15	17	2,4975	2,3908	1,3031	2,7229	15	17	0,5177	0,4800	0,2098	0,5238
15	18	2,5313	2,5971	1,7925	3,1556	15	18	4,5112	4,5078	2,8945	5,3571
17	19	0,3319	0,3083	0,1274	0,3336	17	19	0,3319	0,3083	0,1274	0,3336
19	20	0,3318	0,3082	0,1272	0,3334	19	20	0,3318	0,3082	0,1272	0,3334
20	21	0,1582	0,1457	0,0660	0,1600	20	21	0,1582	0,1457	0,0660	0,1600
17	22	2,1992	2,1157	1,1749	2,4200	17	22	0,2193	0,2054	0,0823	0,2213
22	23	2,1294	2,0495	1,1475	2,3489	22	23	0,1496	0,1405	0,0569	0,1516
22	24	0,0696	0,0649	0,0252	0,0696	22	24	0,0696	0,0649	0,0252	0,0696
18	25	0,1107	0,1019	0,0552	0,1159	18	25	0,1107	0,1019	0,0552	0,1159
25	26	0,1063	0,1014	0,0317	0,1062	25	26	0,1063	0,1014	0,0317	0,1062
25	27	0,0387	0,0348	0,0234	0,0419	25	27	0,0387	0,0348	0,0234	0,0419
27	28	0,0726	0,0687	0,0233	0,0725	27	28	0,0726	0,0687	0,0233	0,0725

		Inicial						Falha 23-121			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
18	29	2,6540	2,7273	1,7346	3,2322	18	29	4,6339	4,6353	2,8319	5,4319
29	30	0,0695	0,0657	0,0225	0,0694	29	30	0,0695	0,0657	0,0225	0,0694
29	31	2,8184	2,8938	1,7089	3,3607	29	31	4,7983	4,7986	2,8004	5,5560
31	32	0,0725	0,0693	0,0213	0,0725	31	32	0,0725	0,0693	0,0213	0,0725
31	33	0,0000	0,0000	-0,0194	0,0194	31	33	0,0000	0,0000	-0,0194	0,0194
31	34	2,8796	2,9567	1,7040	3,4126	31	34	4,8595	4,8587	2,7905	5,6030
34	35	0,0696	0,0651	0,0247	0,0696	34	35	0,0696	0,0651	0,0247	0,0696
34	36	3,0099	3,0895	1,6755	3,5146	34	36	4,9897	4,9880	2,7555	5,6985
36	37	2,7443	2,7987	1,4828	3,1672	36	37	3,1912	3,1741	1,6211	3,5641
37	38	2,7777	2,8296	1,4784	3,1925	37	38	3,2246	3,2043	1,6154	3,5885
38	39	0,0305	0,0628	0,0490	0,0797	38	39	0,0718	0,0628	0,0490	0,0797
39	40	0,0598	0,0626	0,0222	0,0664	39	40	0,0664	0,0626	0,0222	0,0664
39	41	0,0044	0,0340	0,0267	0,0432	39	41	0,0391	0,0340	0,0267	0,0432
38	42	2,7471	2,7657	1,4273	3,1123	38	42	3,1527	3,1401	1,5638	3,5079
42	43	0,1350	0,2283	0,0909	0,2457	42	43	0,2436	0,2283	0,0909	0,2457
42	44	2,6120	2,5370	1,3357	2,8671	42	44	2,9090	2,9113	1,4721	3,2623
44	45	0,0173	0,0357	0,0221	0,0420	44	45	0,0391	0,0357	0,0221	0,0420
44	46	2,5945	2,5001	1,3113	2,8231	44	46	2,8699	2,8740	1,4469	3,2177
46	47	0,0442	0,0919	0,0484	0,1039	46	47	0,1009	0,0919	0,0484	0,1039
47	48	0,0316	0,0684	0,0267	0,0734	47	48	0,0734	0,0684	0,0267	0,0734
47	49	0,0206	0,0311	0,0244	0,0395	47	49	0,0355	0,0311	0,0244	0,0395
46	50	0,0594	0,0622	0,0233	0,0664	46	50	0,0664	0,0622	0,0233	0,0664
46	51	2,4908	2,3452	1,2381	2,6520	46	51	2,7024	2,7189	1,3733	3,0460
51	52	0,0603	0,0545	0,0237	0,0594	51	52	0,0823	0,1090	0,0400	0,1161
51	53	2,4647	2,3240	1,2125	2,6213	51	53	2,6543	2,6428	1,3308	2,9590
53	54	0,1058	0,0987	0,0361	0,1051	53	54	0,1058	0,1645	0,0558	0,1737
53	55	2,3931	2,2586	1,1746	2,5458	53	55	2,5827	2,5113	1,2727	2,8154
55	56	0,2124	0,1989	0,0743	0,2123	55	56	0,2124	0,2660	0,0944	0,2823
56	57	0,1997	0,1908	0,0594	0,1998	56	57	0,1997	0,1949	0,0607	0,2041
57	58	0,2031	0,1941	0,0606	0,2033	57	58	0,2031	0,1982	0,0618	0,2076
56	59	0,0127	0,0081	0,0148	0,0169	56	59	0,0127	0,0711	0,0336	0,0786
59	60	0,0464	0,0420	0,0147	0,0445	59	60	0,0464	0,1049	0,0335	0,1101
55	61	0,3117	0,3005	0,1064	0,3188	55	61	0,3117	0,3005	0,1064	0,3188
55	62	1,9027	1,7919	0,9920	2,0482	55	62	2,0923	1,9773	1,0694	2,2480
62	63	0,5783	0,5905	0,2930	0,6592	62	63	0,5783	0,5905	0,2930	0,6592
63	64	0,5286	0,5568	0,2281	0,6017	63	64	0,5286	0,5568	0,2281	0,6017
64	65	0,5621	0,5902	0,2278	0,6326	64	65	0,5621	0,5902	0,2278	0,6326
63	66	0,0839	0,0678	0,0644	0,0935	63	66	0,0839	0,0678	0,0644	0,0935
66	67	0,1178	0,1017	0,0643	0,1203	66	67	0,1178	0,1017	0,0643	0,1203
62	68	1,3243	1,2004	0,6972	1,3882	62	68	1,5138	1,3856	0,7743	1,5873
68	69	0,9329	0,8394	0,5184	0,9866	68	69	1,1225	1,0245	0,5952	1,1848
69	70	0,0829	0,0755	0,0375	0,0843	69	70	0,0829	0,0755	0,0375	0,0843
69	71	0,8733	0,7871	0,4803	0,9221	69	71	1,0629	0,9720	0,5569	1,1202

		Inicial						Falha 23-121			
		Mestre		Escravo				Mestre		Escravo	
Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
71	72	0,1040	0,0979	0,0399	0,1057	71	72	0,1040	0,0979	0,0399	0,1057
71	73	0,7925	0,7122	0,4399	0,8371	71	73	0,9820	0,8970	0,5163	1,0350
73	74	0,8155	0,7351	0,4394	0,8564	73	74	1,0051	0,9198	0,5156	1,0545
74	75	0,6422	0,5835	0,3655	0,6885	74	75	0,8318	0,7681	0,4417	0,8860
75	76	0,6655	0,6068	0,3654	0,7083	75	76	0,8551	0,7913	0,4415	0,9061
76	77	0,0548	0,0525	0,0194	0,0560	76	77	0,0548	0,0525	0,0194	0,0560
76	78	0,6336	0,5771	0,3458	0,6728	76	78	0,8231	0,7616	0,4218	0,8706
78	79	0,0957	0,1012	0,0471	0,1116	78	79	0,0957	0,1012	0,0471	0,1116
78	80	0,5606	0,4985	0,2982	0,5809	78	80	0,7501	0,6828	0,3741	0,7786
80	81	0,2364	0,2159	0,1109	0,2427	80	81	0,4259	0,4000	0,1865	0,4413
81	82	0,2596	0,2392	0,1108	0,2636	81	82	0,4492	0,4233	0,1863	0,4625
80	83	0,1517	0,1358	0,0814	0,1583	80	83	0,1517	0,1358	0,0814	0,1583
83	84	0,1467	0,1333	0,0655	0,1485	83	84	0,1467	0,1333	0,0655	0,1485
83	85	0,0277	0,0253	0,0158	0,0298	83	85	0,0277	0,0253	0,0158	0,0298
80	86	0,1956	0,1699	0,1056	0,2000	80	86	0,1956	0,1699	0,1056	0,2000
86	87	0,1349	0,1131	0,0736	0,1349	86	87	0,1349	0,1131	0,0736	0,1349
86	88	0,0839	0,0801	0,0319	0,0862	86	88	0,0839	0,0801	0,0319	0,0862
91	89	0,1143	0,1210	0,0598	0,1350	91	89	0,1143	0,1210	0,0598	0,1350
89	90	0,1481	0,1549	0,0597	0,1660	89	90	0,1481	0,1549	0,0597	0,1660
133	91	0,1854	0,1830	0,0971	0,2072	133	91	0,1854	0,1830	0,0971	0,2072
68	92	0,4255	0,3947	0,1779	0,4329	68	92	0,4255	0,3947	0,1779	0,4329
92	93	0,0192	0,0161	0,0154	0,0223	92	93	0,0192	0,0161	0,0154	0,0223
92	94	0,4062	0,3785	0,1622	0,4118	92	94	0,4062	0,3785	0,1622	0,4118
36	95	0,3655	0,3888	0,1888	0,4322	36	95	1,8984	1,9085	1,1245	2,2151
95	96	0,3887	0,4119	0,1885	0,4530	95	96	1,9216	1,9269	1,1171	2,2273
96	97	0,2661	0,2472	0,1080	0,2698	96	97	0,1323	0,2472	0,1080	0,2698
97	98	0,1835	0,1708	0,0670	0,1835	97	98	0,0791	0,1708	0,0670	0,1835
97	99	0,1055	0,0994	0,0409	0,1075	97	99	0,0762	0,0994	0,0409	0,1075
96	100	0,1225	0,1646	0,0802	0,1831	96	100	1,7892	1,6778	1,0060	1,9563
100	101	0,0406	0,0363	0,0234	0,0432	100	101	0,0336	0,0363	0,0234	0,0432
100	102	0,0818	0,1283	0,0567	0,1403	100	102	1,7556	1,6406	0,9810	1,9115
102	103	0,0142	0,0449	0,0243	0,0511	102	103	0,0142	0,0108	0,0141	0,0178
102	104	0,0675	0,0833	0,0323	0,0893	102	104	1,7413	1,6284	0,9646	1,8927
104	105	0,0674	0,0833	0,0322	0,0893	104	105	0,0444	0,0408	0,0194	0,0452
107	106	1,6043	1,5033	0,8265	1,7155	104	106	1,6967	1,5862	0,9428	1,8452
111	107	1,6300	1,5225	0,8636	1,7504	106	107	0,2804	0,2633	0,2038	0,3330
107	108	0,0485	0,0406	0,0348	0,0535	107	108	0,0485	0,0406	0,0348	0,0535
108	109	0,0167	0,0133	0,0199	0,0239	108	109	0,0167	0,0133	0,0199	0,0239
108	110	0,0317	0,0273	0,0148	0,0311	108	110	0,0317	0,0273	0,0148	0,0311
114	111	1,7604	1,6629	0,9309	1,9057	107	111	0,2547	0,2455	0,1688	0,2979
111	112	0,1534	0,1619	0,0647	0,1743	111	112	0,1534	0,1619	0,0647	0,1743
112	113	0,0000	0,0000	-0,0098	0,0098	112	113	0,0000	0,0000	-0,0098	0,0098
119	114	1,8069	1,7263	0,9727	1,9815	111	114	0,1243	0,1066	0,1040	0,1489

		Inicial						Falha 23-121			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
112	115	0,1533	0,1619	0,0743	0,1781	112	115	0,1533	0,1619	0,0743	0,1781
115	116	0,1869	0,1956	0,0742	0,2092	115	116	0,1869	0,1956	0,0742	0,2092
114	117	0,0040	0,0216	0,0219	0,0308	114	117	0,0040	0,0008	0,0134	0,0134
114	118	0,0424	0,0392	0,0159	0,0423	114	118	0,0424	0,0392	0,0159	0,0423
121	119	1,8347	1,7746	1,0013	2,0376	114	119	0,0777	0,0667	0,0745	0,1000
119	120	0,0508	0,0685	0,0239	0,0725	119	120	0,0508	0,0479	0,0178	0,0511
23	121	1,9799	1,9080	1,0888	2,1968	119	121	0,0499	0,0418	0,0566	0,0704
121	122	0,0734	0,0683	0,0270	0,0734	121	122	0,0317	0,0273	0,0147	0,0310
121	123	0,0948	0,0854	0,0561	0,1022	121	123	0,0413	0,0376	0,0418	0,0562
123	124	0,0696	0,0658	0,0229	0,0697	123	124	0,0548	0,0526	0,0189	0,0559
123	125	0,0483	0,0429	0,0332	0,0542	123	125	0,0097	0,0082	0,0228	0,0242
125	126	0,0332	0,0312	0,0113	0,0332	125	126	0,0298	0,0312	0,0113	0,0332
125	127	0,0492	0,0459	0,0217	0,0508	125	127	0,0140	0,0113	0,0113	0,0160
106	128	0,7755	0,7401	0,3602	0,8231	106	128	0,7755	0,7401	0,3468	0,8173
128	129	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	128	129	0,0000	0,0000	-0,0134	0,0134
128	130	0,7754	0,7398	0,3597	0,8226	128	130	0,7754	0,7398	0,3598	0,8227
130	131	0,3933	0,3738	0,1863	0,4177	130	131	0,3933	0,3738	0,1863	0,4177
131	132	0,2031	0,1932	0,0649	0,2038	131	132	0,2031	0,1932	0,0649	0,2038
131	133	0,2129	0,2034	0,1211	0,2367	131	133	0,2129	0,2034	0,1211	0,2367
130	134	0,3820	0,3653	0,1724	0,4039	130	134	0,3820	0,3653	0,1724	0,4039
134	135	0,0866	0,0819	0,0393	0,0908	134	135	0,0866	0,0819	0,0393	0,0908
134	136	0,0598	0,0627	0,0219	0,0664	134	136	0,0598	0,0627	0,0219	0,0664
134	137	0,2355	0,2205	0,1109	0,2468	134	137	0,2355	0,2205	0,1109	0,2468
137	138	0,1354	0,1321	0,0457	0,1398	137	138	0,1354	0,1321	0,0457	0,1398
137	139	0,1231	0,1116	0,0650	0,1291	137	139	0,1231	0,1116	0,0650	0,1291
139	140	0,0424	0,0392	0,0158	0,0423	139	140	0,0424	0,0392	0,0158	0,0423
139	141	0,1039	0,0957	0,0491	0,1076	139	141	0,1039	0,0957	0,0491	0,1076
106	142	0,8287	0,7621	0,4644	0,8924	106	142	0,6408	0,5809	0,3889	0,6991
142	143	0,0269	0,0216	0,0178	0,0280	142	143	0,0269	0,0216	0,0178	0,0280
142	144	0,0550	0,0532	0,0166	0,0557	142	144	0,0550	0,0532	0,0166	0,0557
142	145	0,7468	0,6865	0,4287	0,8094	142	145	0,5588	0,5056	0,3537	0,6170
145	146	0,1199	0,1256	0,0432	0,1328	145	146	0,1199	0,1256	0,0432	0,1328
145	147	0,3182	0,2780	0,1664	0,3240	145	147	0,3182	0,2780	0,1664	0,3240
147	148	0,2799	0,2463	0,1341	0,2804	147	148	0,2799	0,2463	0,1341	0,2804
147	149	0,0615	0,0549	0,0321	0,0636	147	149	0,0615	0,0549	0,0321	0,0636
145	150	0,3315	0,3051	0,2179	0,3749	145	150	0,1436	0,1246	0,1433	0,1899
150	151	0,1039	0,0985	0,0367	0,1051	150	151	0,1039	0,0985	0,0367	0,1051
150	152	0,0625	0,0489	0,0579	0,0758	150	152	0,0625	0,0489	0,0579	0,0758
152	153	0,0643	0,0536	0,0362	0,0647	152	153	0,0643	0,0536	0,0362	0,0647
152	154	0,0208	0,0181	0,0216	0,0282	152	154	0,0208	0,0181	0,0216	0,0282
150	155	0,1879	0,1805	0,1231	0,2185	150	155	0,0000	0,0000	0,0486	0,0486
156	158	0,0227	0,0228	-0,0127	0,0261	155	156	0,0000	0,0000	-0,0127	0,0127
156	157	0,0000	0,0000	-0,0314	0,0314	156	157	0,0000	0,0000	-0,0314	0,0314

		Inicial						Falha 23-121			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)	Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
156	158	0,0000	0,0000	0,0186	0,0186	156	158	0,0227	0,0228	0,0186	0,0294
155	159	0,0001	0,0000	0,0099	0,0099	155	159	0,0017	0,0036	0,0110	0,0116
159	160	0,0000	0,0000	0,0098	0,0098	159	160	0,0016	0,0036	0,0109	0,0115
155	161	0,3093	0,2944	0,1682	0,3391	155	161	0,1198	0,1103	0,0927	0,1441
161	162	0,0276	0,0250	0,0170	0,0302	161	162	0,0276	0,0250	0,0170	0,0302
161	163	0,3156	0,3034	0,1510	0,3389	161	163	0,1261	0,1193	0,0755	0,1412
163	164	0,1487	0,1421	0,0754	0,1609	163	164	0,1487	0,1421	0,0754	0,1609
164	165	0,0000	0,0000	0,0116	0,0116	164	165	0,0000	0,0000	0,0116	0,0116
164	166	0,1829	0,1764	0,0637	0,1875	164	166	0,1829	0,1764	0,0637	0,1875
166	167	0,2164	0,2099	0,0635	0,2193	166	167	0,2164	0,2099	0,0635	0,2193
169	168	0,0376	0,0344	0,0128	0,0367	169	168	0,0376	0,0344	0,0128	0,0367
138	169	0,0979	0,0977	0,0329	0,1031	138	169	0,0979	0,0977	0,0329	0,1031
168	170	0,0375	0,0344	0,0127	0,0367	168	170	0,0375	0,0344	0,0127	0,0367
163	171	0,1896	0,1840	0,0754	0,1988	172	171	0,1896	0,1840	0,0753	0,1988
174	172	0,0193	0,0162	0,0152	0,0222	174	172	0,2089	0,2002	0,0906	0,2197
172	173	0,0192	0,0162	0,0151	0,0221	172	173	0,0192	0,0162	0,0151	0,0221
82	174	0,2225	0,2075	0,0884	0,2255	82	174	0,4121	0,3916	0,1640	0,4246
174	175	0,2031	0,1913	0,0731	0,2048	174	175	0,2031	0,1913	0,0731	0,2048
171	176	0,1895	0,1840	0,0752	0,1988	171	176	0,1895	0,1840	0,0752	0,1988
176	177	0,0315	0,0274	0,0137	0,0306	176	177	0,0315	0,0274	0,0137	0,0306
176	178	0,1579	0,1565	0,0613	0,1681	176	178	0,1579	0,1565	0,0613	0,1681
178	179	0,0922	0,0878	0,0351	0,0946	178	179	0,0922	0,0878	0,0351	0,0946
178	180	0,0656	0,0686	0,0261	0,0734	178	180	0,0656	0,0686	0,0261	0,0734

A.2.8.7 TENSÃO, ÂNGULO E POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA INJETADAS NOS BARRAMENTOS

Tabela 77 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.1 (P.1)

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
1	30000,0000	0,0000	4,0000	3,0001
2	29994,7251	0,0000	0,2598	0,0970
3	29980,8002	-0,0002	0,1366	0,0424
4	29980,4955	-0,0002	-0,0341	-0,0125
5	29966,6552	-0,0005	0,2563	0,0970
6	29964,2361	-0,0005	0,0344	-0,0001
7	29946,1215	-0,0008	0,2091	0,0707
8	29963,5908	-0,0005	-0,3772	-0,1503

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
9	29963,4230	-0,0005	-0,0772	-0,0335
10	29944,9385	-0,0008	-0,0881	-0,0384
11	29935,6654	-0,0009	0,2236	0,0707
12	29935,4221	-0,0010	-0,0314	-0,0252
13	29924,9185	-0,0011	0,3149	0,0424
14	29924,5753	-0,0011	-0,0290	-0,0198
15	29913,8251	-0,0013	0,2341	-0,0001
16	29913,3546	-0,0013	-0,0352	-0,0213
17	29912,4417	-0,0014	0,0336	-0,0001
18	29872,4329	-0,0021	0,2335	-0,0001
19	29910,1257	-0,0014	0,0000	-0,0001
20	29909,5744	-0,0014	-0,1625	-0,0612
21	29909,4138	-0,0014	-0,1457	-0,0660
22	29910,1548	-0,0014	0,0000	-0,0001
23	29908,8452	-0,0014	-0,1405	-0,0569
24	29909,4407	-0,0014	-0,0649	-0,0252
25	29870,6253	-0,0021	0,0344	-0,0001
26	29869,9364	-0,0021	-0,1014	-0,0317
27	29870,4618	-0,0021	0,0339	-0,0001
28	29870,4151	-0,0021	-0,0687	-0,0233
29	29824,0044	-0,0030	0,2340	-0,0001
30	29822,2486	-0,0030	-0,0657	-0,0225
31	29781,9704	-0,0038	0,1338	-0,0001
32	29781,3829	-0,0038	-0,0693	-0,0213
33	29783,0303	-0,0038	0,0000	0,0194
34	29729,1320	-0,0049	0,2000	-0,0001
35	29728,1796	-0,0049	-0,0651	-0,0247
36	29679,3972	-0,0059	0,1000	-0,0001
37	29634,4567	-0,0069	0,0335	-0,0001
38	29614,7464	-0,0074	0,0000	-0,0001
39	29613,2955	-0,0074	0,0338	-0,0001
40	29612,6233	-0,0074	-0,0626	-0,0222
41	29612,7696	-0,0074	-0,0340	-0,0267
42	29608,3403	-0,0075	0,0000	-0,0001
43	29607,4865	-0,0075	-0,2283	-0,0908
44	29582,4148	-0,0081	0,0000	-0,0001
45	29582,2526	-0,0081	-0,0357	-0,0221
46	29566,6828	-0,0085	0,0000	-0,0001
47	29565,7145	-0,0085	0,0076	0,0027
48	29565,3330	-0,0085	-0,0684	-0,0267
49	29565,3938	-0,0085	-0,0311	-0,0244
50	29566,3414	-0,0085	-0,0622	-0,0233

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
51	29544,2531	-0,0090	0,0343	-0,0001
52	29540,2365	-0,0091	-0,1090	-0,0400
53	29522,4650	-0,0094	0,0343	-0,0001
54	29520,0059	-0,0095	-0,1645	-0,0558
55	29498,7166	-0,0099	0,0338	-0,0001
56	29495,8469	-0,0100	0,0000	-0,0001
57	29494,8423	-0,0101	0,0033	0,0011
58	29494,5079	-0,0101	-0,1982	-0,0618
59	29494,8444	-0,0100	0,0338	-0,0001
60	29494,5607	-0,0100	-0,1049	-0,0335
61	29487,7698	-0,0102	-0,3004	-0,1062
62	29472,1846	-0,0105	0,0000	-0,0001
63	29455,8298	-0,0108	0,0343	-0,0001
64	29443,3336	-0,0111	0,0336	-0,0001
65	29441,0197	-0,0111	-0,5901	-0,2277
66	29454,8486	-0,0108	0,0340	-0,0001
67	29454,4021	-0,0108	-0,1017	-0,0643
68	29451,5602	-0,0109	0,0342	-0,0001
69	29433,3989	-0,0112	0,0234	-0,0001
70	29433,0870	-0,0112	-0,0755	-0,0375
71	29418,4132	-0,0115	0,0233	-0,0001
72	29416,2176	-0,0115	-0,0979	-0,0399
73	29400,5832	-0,0118	0,0232	-0,0001
74	29391,6278	-0,0118	-0,1515	-0,0738
75	29385,9812	-0,0118	0,0234	-0,0001
76	29377,3616	-0,0120	0,0229	-0,0001
77	29376,7121	-0,0120	-0,0525	-0,0194
78	29357,9283	-0,0123	0,0228	-0,0001
79	29356,7080	-0,0124	-0,1012	-0,0471
80	29340,5792	-0,0126	0,0231	-0,0001
81	29331,0925	-0,0128	0,0234	-0,0001
82	29329,6769	-0,0129	-0,0317	-0,0223
83	29337,4941	-0,0127	0,0229	-0,0001
84	29334,2618	-0,0128	-0,1333	-0,0655
85	29337,4307	-0,0127	-0,0253	-0,0158
86	29337,3065	-0,0127	0,0233	-0,0001
87	29335,5239	-0,0127	-0,1131	-0,0736
88	29336,3998	-0,0127	-0,0800	-0,0319
89	29310,8648	-0,0125	0,0339	-0,0001
90	29307,9367	-0,0125	-0,1549	-0,0597
91	29312,9679	-0,0124	-0,0620	-0,0373
92	29443,6771	-0,0111	0,0000	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
93	29443,1317	-0,0111	-0,0161	-0,0154
94	29437,4994	-0,0112	-0,3785	-0,1622
95	29573,5006	-0,0077	0,0233	-0,0001
96	29531,0262	-0,0084	0,0000	-0,0001
97	29527,7836	-0,0085	0,0231	-0,0001
98	29526,1909	-0,0085	-0,1708	-0,0670
99	29526,8284	-0,0085	-0,0994	-0,0409
100	29508,4367	-0,0088	0,0000	-0,0001
101	29508,0136	-0,0088	-0,0363	-0,0234
102	29471,6452	-0,0095	0,0000	-0,0001
103	29471,4544	-0,0095	-0,0108	-0,0141
104	29435,2494	-0,0101	0,0000	-0,0001
105	29434,8370	-0,0101	-0,0408	-0,0194
106	29381,9177	-0,0110	0,0000	-0,0001
107	29375,1207	-0,0111	0,0229	-0,0001
108	29373,8261	-0,0111	0,0000	-0,0001
109	29373,6176	-0,0111	-0,0133	-0,0199
110	29373,5329	-0,0111	-0,0273	-0,0148
111	29368,1686	-0,0112	0,0231	-0,0001
112	29365,5899	-0,0113	0,0000	-0,0001
113	29365,6439	-0,0113	0,0000	0,0098
114	29364,5073	-0,0112	0,0000	-0,0001
115	29363,6493	-0,0113	0,0337	-0,0001
116	29362,8828	-0,0113	-0,1956	-0,0742
117	29364,4046	-0,0112	-0,0008	-0,0134
118	29364,2095	-0,0112	-0,0392	-0,0159
119	29360,9527	-0,0113	0,0231	-0,0001
120	29360,2095	-0,0113	-0,0479	-0,0178
121	29358,1754	-0,0113	0,0231	-0,0001
122	29357,8825	-0,0113	-0,0273	-0,0147
123	29356,5763	-0,0113	0,0232	-0,0001
124	29355,7694	-0,0113	-0,0526	-0,0189
125	29355,9070	-0,0113	0,0343	-0,0001
126	29355,6795	-0,0113	-0,0312	-0,0113
127	29355,7375	-0,0113	-0,0113	-0,0113
128	29368,5020	-0,0113	0,0000	-0,0001
129	29368,6752	-0,0113	0,0000	0,0134
130	29330,2815	-0,0121	0,0000	-0,0001
131	29321,1619	-0,0123	0,0228	-0,0001
132	29318,8432	-0,0123	-0,1931	-0,0649
133	29318,8711	-0,0123	-0,0203	-0,0240
134	29316,5955	-0,0124	0,0000	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
135	29315,1894	-0,0124	-0,0819	-0,0393
136	29316,2571	-0,0124	-0,0627	-0,0219
137	29309,6486	-0,0125	0,0232	-0,0001
138	29308,0469	-0,0126	-0,0344	-0,0127
139	29306,3099	-0,0126	0,0233	-0,0001
140	29305,9378	-0,0126	-0,0392	-0,0158
141	29304,9579	-0,0126	-0,0957	-0,0491
142	29347,1489	-0,0115	0,0000	-0,0001
143	29346,6872	-0,0115	-0,0216	-0,0178
144	29346,5973	-0,0116	-0,0532	-0,0166
145	29314,1050	-0,0120	0,0229	-0,0001
146	29312,2050	-0,0120	-0,1256	-0,0432
147	29304,6296	-0,0121	0,0233	-0,0001
148	29303,0338	-0,0122	-0,2463	-0,1341
149	29303,8064	-0,0121	-0,0549	-0,0321
150	29306,6508	-0,0120	0,0228	-0,0001
151	29305,4250	-0,0120	-0,0985	-0,0367
152	29303,3986	-0,0120	0,0227	-0,0001
153	29302,5372	-0,0120	-0,0536	-0,0362
154	29302,9955	-0,0120	-0,0181	-0,0216
155	29304,7596	-0,0120	0,1139	0,0424
156	29305,1777	-0,0120	0,0228	-0,0001
157	29305,5836	-0,0120	0,0000	0,0314
158	29304,6720	-0,0120	-0,0228	-0,0186
159	29304,3983	-0,0120	0,0000	-0,0001
160	29304,2769	-0,0120	-0,0036	-0,0109
161	29300,2806	-0,0120	0,0340	-0,0001
162	29299,8774	-0,0120	-0,0250	-0,0170
163	29296,5647	-0,0121	0,0228	-0,0001
164	29289,9391	-0,0122	0,0343	-0,0001
165	29289,7650	-0,0122	0,0000	-0,0116
166	29285,5951	-0,0123	0,0335	-0,0001
167	29282,5469	-0,0124	-0,2099	-0,0635
168	29304,9611	-0,0126	0,0000	-0,0001
169	29305,4043	-0,0126	-0,0633	-0,0201
170	29304,5823	-0,0127	-0,0344	-0,0127
171	29308,7202	-0,0133	0,0000	-0,0001
172	29312,8691	-0,0132	0,0000	-0,0001
173	29312,6361	-0,0132	-0,0162	-0,0151
174	29318,2339	-0,0131	0,0000	-0,0001
175	29315,2320	-0,0132	-0,1913	-0,0731
176	29301,6122	-0,0135	0,0000	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
177	29301,3270	-0,0135	-0,0274	-0,0137
178	29296,1552	-0,0136	0,0000	-0,0001
179	29294,1908	-0,0137	-0,0878	-0,0351
180	29294,8644	-0,0137	-0,0686	-0,0261

A.2.9 REDE REAL – RESULTADOS: TOPOLOGIA INICIAL – PERÍODO 2

A.2.9.1 CUSTOS GERAIS

Tabela 78 - Rede real – Custos gerais – Topologia inicial (P.2)

Custos (€)								
Subproblema	P_{gen}	P_{Exgen}	DR	PNE	$stDsc$	$Market$	$Losses$	Total
Mestre	896,1711	0,0000	557,6186	0,0000	108,0000	0,0000	6,0655	1567,8552
Escravo	1280,4813	0,0000	752,6017	0,0000	108,0000	0,0000	17,8919	2158,9749

A.2.9.2 PRODUÇÕES

Tabela 79 - Rede real – Produções – Topologia inicial (P.2)

Barramento	Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q ($Mvar$)	S (MVA)
1	4,2248	3,4325	3,1357	4,6491
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0252	0,0000	0,0252
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0247	0,0000	0,0247
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000

	Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000
21	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251
23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
25	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000
27	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
31	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
37	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
39	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
43	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000
45	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
47	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
51	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
55	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
57	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
59	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
61	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
63	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
64	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
65	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
66	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
67	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
68	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
69	0,0000	0,0254	0,0000	0,0254
70	0,0000	0,0248	0,0000	0,0248
71	0,0000	0,0252	0,0000	0,0252
72	0,0000	0,0249	0,0000	0,0249
73	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251
74	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251
75	0,0000	0,0254	0,0000	0,0254
76	0,0254	0,0248	0,0000	0,0248
78	0,0248	0,0247	0,0000	0,0247
79	0,0252	0,0249	0,0000	0,0249
80	0,0249	0,0251	0,0000	0,0251
81	0,0251	0,0253	0,0000	0,0253
82	0,0251	0,0249	0,0000	0,0249
83	0,0254	0,0248	0,0000	0,0248
84	0,0248	0,0249	0,0000	0,0249
85	0,0247	0,0250	0,0000	0,0250

	Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
86	0,0249	0,0252	0,0000	0,0252
87	0,0251	0,0254	0,0000	0,0254
88	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000
89	0,0249	0,0000	0,0000	0,0000
91	0,0248	0,0250	0,0000	0,0250
93	0,0249	0,0251	0,0000	0,0251
95	0,0250	0,0253	0,0000	0,0253
97	0,0252	0,0250	0,0000	0,0250
99	0,0254	0,0000	0,0000	0,0000
101	0,0000	0,0258	0,0000	0,0258
103	0,0250	0,0254	0,0000	0,0254
105	0,0251	0,0250	0,0000	0,0250
107	0,0253	0,0248	0,0000	0,0248
109	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
111	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250
113	0,0258	0,0000	0,0000	0,0000
115	0,0254	0,0000	0,0000	0,0000
117	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
119	0,0248	0,0250	0,0000	0,0250
121	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251
123	0,0250	0,0252	0,0000	0,0252
125	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
127	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253
129	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
131	0,0251	0,0247	0,0000	0,0247
133	0,0252	0,0252	0,0000	0,0252
135	0,0000	0,0248	0,0000	0,0248
137	0,0253	0,0251	0,0000	0,0251
139	0,0247	0,0252	0,0000	0,0252
141	0,0252	0,0249	0,0000	0,0249
143	0,0248	0,0248	0,0000	0,0248
145	0,0251	0,0249	0,0000	0,0249
147	0,0252	0,0252	0,0000	0,0252
148	0,0249	0,0253	0,0000	0,0253
149	0,0248	0,0253	0,0000	0,0253
150	0,0249	0,0247	0,0000	0,0247
151	0,0252	0,0250	0,0000	0,0250
152	0,0253	0,0246	0,0000	0,0246
153	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000
154	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000
155	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
156	0,0246	0,0247	0,0000	0,0247
157	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
158	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251

	Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
159	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000
160	0,0251	0,0248	0,0000	0,0248
161	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000
162	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251
163	0,0251	0,0247	0,0000	0,0247
164	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000
165	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
166	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
167	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
173	0,0251	0,0251	0,0000	0,0251
Total	5,6022	4,8098	3,1357	6,0265

A.2.9.3 DEMAND RESPONSE

Tabela 80 - Rede real – Demand Response – Topologia inicial (P.2)

Barramento	Mestre (MVA)	Escravo (MVA)
4	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0499
12	0,0000	0,0137
14	0,0000	0,0000
16	0,0000	0,0343
20	0,0000	0,0687
21	0,0000	0,0342
23	0,0000	0,0785
24	0,0000	0,0137
26	0,0000	0,0000
28	0,0000	0,0340
30	0,0000	0,0278
32	0,0000	0,0141
33	0,0000	0,0314
35	0,0000	0,0137
40	0,0074	0,0000
41	0,0343	0,0334
43	0,1147	0,1110
45	0,0147	0,0140
48	0,0313	0,0308
49	0,0158	0,0138
50	0,0078	0,0000
52	0,0552	0,0539
54	0,0717	0,0695

Barramento	Mestre (MVA)	Escravo (MVA)
58	0,0588	0,0562
60	0,0478	0,0472
61	0,0976	0,0883
65	0,0764	0,0000
67	0,1373	0,1338
70	0,0717	0,0693
72	0,0368	0,0350
74	0,1995	0,1965
77	0,0157	0,0138
79	0,0158	0,0000
82	0,0553	0,0541
84	0,1143	0,1101
85	0,0147	0,0140
87	0,1566	0,1536
88	0,0253	0,0220
90	0,0200	0,0000
91	0,0862	0,0841
93	0,0286	0,0277
94	0,1176	0,1096
98	0,0784	0,0769
99	0,0309	0,0281
101	0,0079	0,0000
103	0,0346	0,0338
105	0,0461	0,0450
109	0,0147	0,0137
110	0,0313	0,0307
113	0,0394	0,0344
116	0,0249	0,0000
117	0,0346	0,0339
118	0,0286	0,0276
120	0,0147	0,0139
122	0,0000	0,0307
124	0,0000	0,0139
126	0,0038	0,0000
127	0,0348	0,0342
129	0,0716	0,0693
132	0,0588	0,0559
133	0,0501	0,0491
135	0,0314	0,0276
136	0,0073	0,0000
138	0,0347	0,0340
140	0,0286	0,0276
141	0,0368	0,0344
143	0,0508	0,0500
144	0,0155	0,0140

Barramento	Mestre (<i>MVA</i>)	Escravo (<i>MVA</i>)
146	0,0145	0,0000
148	0,2741	0,2666
149	0,0572	0,0552
151	0,0368	0,0352
153	0,0998	0,0984
154	0,0159	0,0137
157	0,0037	0,0000
158	0,0345	0,0336
160	0,0119	0,0094
162	0,0147	0,0139
165	0,0306	0,0277
167	0,0617	0,0562
169	0,0068	0,0000
170	0,0347	0,0340
173	0,0287	0,0277
175	0,0588	0,0554
177	0,0314	0,0309
179	0,0190	0,0165
180	0,0059	0,0000
Total	3,3795	3,5086

A.2.9.4 DESCARGA DO SAE

Tabela 81 - Rede real – Descarga do SAE – Topologia inicial (P.2)

Barramento	Mestre (<i>MVA</i>)	Escravo (<i>MVA</i>)
13	0,2000	0,2000
15	0,2000	0,2000
18	0,2000	0,2000
29	0,2000	0,2000
31	0,1000	0,1000
34	0,2000	0,2000
36	0,1000	0,1000

A.2.9.5 ALIMENTADOR

Tabela 82 - Rede real – Alimentadores – Topologia inicial (P.2)

Alimentador	Mestre	Escravo		
	S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
Produção	4,2248	3,4325	3,1357	4,6491
Trânsito B1 - B2	6,2248	5,4325	3,1357	6,2725

A.2.9.6 FLUXOS DE POTÊNCIA

Tabela 83 - Rede real – Fluxos de potência – Topologia inicial (P.2)

B. Saída	B. Chegada	Mestre	Escravo		
		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
1	2	6,2248	5,4325	3,1357	6,2725
2	3	6,2247	5,4315	3,1346	6,2711
3	4	0,0359	0,0337	0,0123	0,0359
3	5	6,2140	5,4212	3,1189	6,2544
5	6	0,5411	0,5095	0,1817	0,5409
5	7	5,6728	4,9098	2,9338	5,7196
6	8	0,5410	0,5095	0,1815	0,5409
8	9	0,0784	0,0751	0,0226	0,0784
7	10	0,0634	0,0086	0,0138	0,0163
7	11	5,6346	4,9242	2,9157	5,7227
11	12	0,0734	0,0547	0,0225	0,0591
11	13	5,5611	4,8683	2,8910	5,6620
13	14	0,0742	0,0708	0,0221	0,0742
13	15	5,6868	4,9963	2,8667	5,7603
15	16	0,0717	0,0343	0,0108	0,0360
15	17	2,6286	2,2449	1,1501	2,5224
15	18	3,1864	2,9159	1,7035	3,3770
17	19	0,2811	0,1578	0,0785	0,1762
19	20	0,2810	0,1578	0,0784	0,1762
20	21	0,0974	0,0548	0,0343	0,0646
17	22	2,3474	2,0867	1,0709	2,3455
22	23	2,2739	2,0307	1,0463	2,2844
22	24	0,0734	0,0547	0,0225	0,0591
18	25	0,1907	0,1473	0,0484	0,1550
25	26	0,1188	0,1134	0,0354	0,1188
25	27	0,0718	0,0340	0,0129	0,0364
27	28	0,0717	0,0340	0,0128	0,0363
18	29	3,1956	2,9670	1,6521	3,3960
29	30	0,0734	0,0417	0,0154	0,0445
29	31	3,3221	3,1233	1,6331	3,5245
31	32	0,0490	0,0328	0,0102	0,0343
31	33	0,0551	0,0209	0,0079	0,0223
31	34	3,3179	3,1679	1,6117	3,5543
34	35	0,0734	0,0549	0,0219	0,0591
34	36	3,4444	3,3107	1,5856	3,6708
36	37	3,3200	3,2005	1,4583	3,5171
37	38	3,3199	3,1974	1,4528	3,5120
38	39	0,1044	0,1033	0,0413	0,1113
39	40	0,0668	0,0700	0,0248	0,0743
39	41	0,0375	0,0334	0,0164	0,0372
38	42	3,2154	3,0927	1,4090	3,3985

B. Saída	B. Chegada	Mestre	Escravo		
		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
42	43	0,1790	0,1665	0,0627	0,1779
42	44	3,0363	2,9258	1,3455	3,2204
44	45	0,0343	0,0327	0,0107	0,0344
44	46	3,0019	2,8914	1,3317	3,1833
46	47	0,0815	0,0755	0,0325	0,0822
47	48	0,0237	0,0205	0,0108	0,0232
47	49	0,0577	0,0550	0,0216	0,0591
46	50	0,0664	0,0695	0,0260	0,0742
46	51	2,8540	2,7454	1,2714	3,0255
51	52	0,0596	0,0539	0,0234	0,0588
51	53	2,7942	2,6902	1,2455	2,9645
53	54	0,1118	0,1043	0,0381	0,1110
53	55	2,6823	2,5846	1,2051	2,8517
55	56	0,1723	0,1626	0,0522	0,1708
56	57	0,1373	0,1311	0,0410	0,1374
57	58	0,1372	0,1311	0,0409	0,1373
56	59	0,0349	0,0315	0,0111	0,0334
59	60	0,0348	0,0315	0,0110	0,0334
55	61	0,3650	0,3532	0,1122	0,3706
55	62	2,1449	2,0674	1,0382	2,3134
62	63	0,8158	0,8318	0,3195	0,8911
63	64	0,6660	0,6976	0,2551	0,7428
64	65	0,6659	0,6973	0,2546	0,7423
63	66	0,1497	0,1338	0,0637	0,1482
66	67	0,1496	0,1338	0,0636	0,1481
62	68	1,3290	1,2344	0,7164	1,4272
68	69	1,0347	0,9617	0,5894	1,1279
69	70	0,0871	0,0791	0,0397	0,0885
69	71	0,9729	0,9075	0,5490	1,0606
71	72	0,0609	0,0568	0,0269	0,0628
71	73	0,9371	0,8756	0,5214	1,0191
73	74	0,9621	0,9003	0,5208	1,0401
74	75	0,8398	0,7942	0,4653	0,9205
75	76	0,8651	0,8194	0,4651	0,9422
76	77	0,0577	0,0553	0,0204	0,0589
76	78	0,8321	0,7887	0,4443	0,9052
78	79	0,1077	0,1139	0,0526	0,1255
78	80	0,7489	0,6991	0,3909	0,8010
80	81	0,3087	0,2877	0,1532	0,3259
81	82	0,3339	0,3130	0,1530	0,3484
80	83	0,1391	0,1232	0,0800	0,1469
83	84	0,1544	0,1403	0,0693	0,1565
83	85	0,0093	0,0077	0,0107	0,0132
80	86	0,3261	0,3130	0,1572	0,3503

		Mestre	Escravo		
B. Saída	B. Chegada	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
86	87	0,0934	0,0770	0,0552	0,0947
86	88	0,0922	0,0879	0,0349	0,0946
86	89	0,1656	0,1732	0,0669	0,1857
89	90	0,1655	0,1732	0,0668	0,1856
133	91	0,0682	0,0591	0,0369	0,0697
68	92	0,2943	0,2722	0,1260	0,2999
92	93	0,0197	0,0164	0,0163	0,0231
92	94	0,2745	0,2557	0,1096	0,2782
36	95	0,2243	0,2079	0,1232	0,2417
95	96	0,2495	0,2332	0,1230	0,2636
96	97	0,1503	0,1386	0,0620	0,1518
97	98	0,0593	0,0513	0,0272	0,0581
97	99	0,1159	0,1123	0,0347	0,1175
96	100	0,0990	0,0945	0,0609	0,1124
100	101	0,0405	0,0436	0,0262	0,0509
100	102	0,0584	0,0509	0,0346	0,0615
102	103	0,0118	0,0084	0,0139	0,0162
102	104	0,0465	0,0425	0,0206	0,0472
104	105	0,0464	0,0425	0,0205	0,0472
107	106	1,5595	1,4538	0,7473	1,6346
111	107	1,5930	1,4828	0,7740	1,6727
107	108	0,0582	0,0525	0,0247	0,0580
108	109	0,0343	0,0320	0,0135	0,0347
108	110	0,0238	0,0205	0,0111	0,0233
114	111	1,9213	1,8159	0,9143	2,0331
111	112	0,3532	0,3562	0,1373	0,3817
112	113	0,1441	0,1375	0,0541	0,1478
119	114	2,0034	1,8942	0,9490	2,1186
112	115	0,2090	0,2186	0,0831	0,2339
115	116	0,2089	0,2186	0,0830	0,2338
114	117	0,0371	0,0339	0,0133	0,0364
114	118	0,0448	0,0414	0,0168	0,0447
121	119	2,0128	1,9048	0,9660	2,1357
119	120	0,0343	0,0324	0,0120	0,0346
23	121	2,1363	1,9773	1,0256	2,2275
121	122	0,0551	0,0205	0,0110	0,0233
121	123	0,0934	0,0741	0,0440	0,0862
123	124	0,0734	0,0555	0,0199	0,0590
123	125	0,0450	0,0438	0,0240	0,0499
125	126	0,0333	0,0349	0,0127	0,0371
125	127	0,0116	0,0090	0,0112	0,0144
106	128	0,8926	0,8437	0,3734	0,9226
128	129	0,1119	0,1040	0,0398	0,1114
128	130	0,7806	0,7394	0,3330	0,8109

B. Saída	B. Chegada	Mestre	Escravo		
		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
130	131	0,1936	0,1724	0,0988	0,1987
131	132	0,1372	0,1305	0,0439	0,1377
131	133	0,0810	0,0666	0,0548	0,0862
130	134	0,5868	0,5663	0,2331	0,6124
134	135	0,0907	0,0858	0,0415	0,0953
134	136	0,0669	0,0701	0,0245	0,0743
134	137	0,4292	0,4102	0,1667	0,4428
137	138	0,3737	0,3638	0,1164	0,3820
137	139	0,0805	0,0714	0,0500	0,0872
139	140	0,0448	0,0414	0,0167	0,0446
139	141	0,0608	0,0553	0,0332	0,0645
106	142	0,6669	0,6090	0,3722	0,7137
142	143	0,0125	0,0086	0,0134	0,0159
142	144	0,0580	0,0561	0,0175	0,0588
142	145	0,5963	0,5438	0,3404	0,6416
145	146	0,1340	0,1404	0,0483	0,1485
145	147	0,3138	0,2735	0,1667	0,3203
147	148	0,2746	0,2413	0,1326	0,2753
147	149	0,0643	0,0574	0,0339	0,0667
145	150	0,1733	0,1543	0,1246	0,1983
150	151	0,0608	0,0571	0,0248	0,0623
150	152	0,1067	0,0956	0,0500	0,1079
152	153	0,0736	0,0656	0,0272	0,0710
152	154	0,0576	0,0547	0,0228	0,0593
150	155	0,0305	0,0263	0,0497	0,0562
155	156	0,0210	0,0188	0,0273	0,0331
156	157	0,0334	0,0350	0,0124	0,0371
156	158	0,0121	0,0085	0,0148	0,0171
155	159	0,0001	0,0000	0,0106	0,0106
159	160	0,0000	0,0000	0,0105	0,0105
155	161	0,0094	0,0075	0,0116	0,0138
161	162	0,0093	0,0075	0,0115	0,0137
171	163	0,0000	0,0000	0,0087	0,0087
163	164	0,0246	0,0247	0,0086	0,0262
164	165	0,0245	0,0247	0,0085	0,0261
168	166	0,2320	0,2249	0,0685	0,2351
166	167	0,2319	0,2249	0,0683	0,2350
169	168	0,2692	0,2589	0,0811	0,2713
138	169	0,3366	0,3297	0,1037	0,3456
168	170	0,0370	0,0340	0,0125	0,0362
172	171	0,1423	0,1380	0,0653	0,1527
174	172	0,1621	0,1545	0,0814	0,1746
172	173	0,0197	0,0165	0,0160	0,0230
82	174	0,2994	0,2838	0,1310	0,3126

		Mestre	Escravo		
B. Saída	B. Chegada	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
174	175	0,1372	0,1292	0,0494	0,1383
171	176	0,1422	0,1380	0,0565	0,1491
176	177	0,0236	0,0206	0,0103	0,0230
176	178	0,1184	0,1174	0,0460	0,1261
178	179	0,0691	0,0659	0,0264	0,0710
178	180	0,0492	0,0515	0,0196	0,0551

A.2.9.7 TENSÃO, ÂNGULO E POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA INJETADAS NOS BARRAMENTOS

Tabela 84 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – T.I. (P.2)

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
1	30000,0000	0,0000	5,4325	3,1357
2	29993,5292	-0,0001	0,0000	-0,0001
3	29977,8467	-0,0004	0,0252	-0,0001
4	29977,5454	-0,0004	-0,0337	-0,0123
5	29962,2110	-0,0007	0,0000	-0,0001
6	29959,5010	-0,0008	0,0000	-0,0001
7	29940,5415	-0,0011	0,0253	-0,0001
8	29958,8017	-0,0008	-0,4344	-0,1589
9	29958,6532	-0,0008	-0,0751	-0,0226
10	29940,2988	-0,0011	-0,0086	-0,0138
11	29929,7177	-0,0013	0,0000	-0,0001
12	29929,4101	-0,0013	-0,0547	-0,0225
13	29918,9967	-0,0015	0,2000	-0,0001
14	29918,3960	-0,0015	-0,0708	-0,0221
15	29908,1822	-0,0017	0,2000	-0,0001
16	29907,8324	-0,0017	-0,0343	-0,0108
17	29901,2523	-0,0019	0,0000	-0,0001
18	29882,6952	-0,0022	0,2000	-0,0001
19	29899,9696	-0,0019	0,0000	-0,0001
20	29899,6709	-0,0019	-0,1031	-0,0441
21	29899,6034	-0,0019	-0,0548	-0,0343
22	29875,4632	-0,0024	0,0000	-0,0001
23	29854,4928	-0,0028	-0,0523	-0,0192
24	29874,8469	-0,0024	-0,0547	-0,0225
25	29880,5417	-0,0023	0,0000	-0,0001
26	29879,7720	-0,0023	-0,1134	-0,0354
27	29880,4180	-0,0023	0,0000	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
28	29880,3942	-0,0023	-0,0340	-0,0128
29	29853,1432	-0,0029	0,2000	-0,0001
30	29852,0001	-0,0029	-0,0417	-0,0154
31	29827,2661	-0,0034	0,1000	-0,0001
32	29826,9877	-0,0034	-0,0328	-0,0102
33	29826,1265	-0,0035	-0,0209	-0,0079
34	29794,8612	-0,0042	0,2000	-0,0001
35	29794,0435	-0,0042	-0,0549	-0,0219
36	29764,1060	-0,0049	0,1000	-0,0001
37	29721,1870	-0,0059	0,0000	-0,0001
38	29702,4980	-0,0064	0,0000	-0,0001
39	29700,7621	-0,0064	0,0000	-0,0001
40	29700,0131	-0,0064	-0,0700	-0,0248
41	29700,3550	-0,0064	-0,0334	-0,0164
42	29696,4605	-0,0065	0,0000	-0,0001
43	29695,8526	-0,0065	-0,1665	-0,0627
44	29671,6049	-0,0071	0,0000	-0,0001
45	29671,4913	-0,0071	-0,0327	-0,0107
46	29656,4639	-0,0075	0,0000	-0,0001
47	29655,7367	-0,0075	0,0000	-0,0001
48	29655,6072	-0,0075	-0,0205	-0,0108
49	29655,3283	-0,0075	-0,0550	-0,0216
50	29656,0835	-0,0075	-0,0695	-0,0260
51	29634,7521	-0,0080	0,0000	-0,0001
52	29632,6442	-0,0081	-0,0539	-0,0234
53	29613,4634	-0,0085	0,0000	-0,0001
54	29611,8683	-0,0086	-0,1043	-0,0381
55	29589,9996	-0,0091	0,0000	-0,0001
56	29588,3112	-0,0091	0,0000	-0,0001
57	29587,6363	-0,0091	0,0000	-0,0001
58	29587,4157	-0,0091	-0,1311	-0,0409
59	29587,9174	-0,0091	0,0000	-0,0001
60	29587,8312	-0,0091	-0,0315	-0,0110
61	29577,6300	-0,0094	-0,3530	-0,1120
62	29563,2927	-0,0096	0,0000	-0,0001
63	29542,5420	-0,0101	0,0000	-0,0001
64	29527,5718	-0,0105	0,0000	-0,0001
65	29524,8732	-0,0105	-0,6972	-0,2545
66	29541,1925	-0,0102	0,0000	-0,0001
67	29540,6470	-0,0102	-0,1338	-0,0636
68	29544,6308	-0,0100	0,0000	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
69	29527,1872	-0,0103	0,0254	-0,0001
70	29526,8605	-0,0103	-0,0791	-0,0397
71	29512,8674	-0,0105	0,0252	-0,0001
72	29511,5186	-0,0106	-0,0568	-0,0269
73	29495,2311	-0,0109	0,0251	-0,0001
74	29486,4237	-0,0109	-0,1059	-0,0553
75	29480,5759	-0,0109	0,0254	-0,0001
76	29471,6067	-0,0110	0,0248	-0,0001
77	29470,9241	-0,0110	-0,0553	-0,0204
78	29451,3906	-0,0114	0,0247	-0,0001
79	29450,0256	-0,0114	-0,1139	-0,0526
80	29433,5178	-0,0117	0,0251	-0,0001
81	29426,3186	-0,0118	0,0253	-0,0001
82	29425,2408	-0,0118	-0,0292	-0,0220
83	29430,6168	-0,0117	0,0248	-0,0001
84	29427,2198	-0,0118	-0,1402	-0,0692
85	29430,5888	-0,0117	-0,0077	-0,0107
86	29428,0650	-0,0118	0,0252	-0,0001
87	29426,7941	-0,0118	-0,0770	-0,0552
88	29427,0732	-0,0118	-0,0879	-0,0349
89	29423,7156	-0,0119	0,0000	-0,0001
90	29420,4556	-0,0120	-0,1731	-0,0667
91	29484,6676	-0,0099	-0,0591	-0,0368
92	29539,1512	-0,0101	0,0000	-0,0001
93	29538,5852	-0,0101	-0,0164	-0,0163
94	29534,9910	-0,0102	-0,2557	-0,1096
95	29752,5675	-0,0051	0,0253	-0,0001
96	29747,6796	-0,0052	0,0000	-0,0001
97	29745,8582	-0,0052	0,0250	-0,0001
98	29745,3195	-0,0052	-0,0513	-0,0272
99	29744,8889	-0,0052	-0,1123	-0,0347
100	29746,3700	-0,0052	0,0000	-0,0001
101	29745,8837	-0,0052	-0,0436	-0,0262
102	29745,1617	-0,0052	0,0000	-0,0001
103	29744,9874	-0,0052	-0,0084	-0,0139
104	29744,3041	-0,0052	0,0000	-0,0001
105	29743,8761	-0,0052	-0,0425	-0,0205
106	29543,7054	-0,0087	0,0000	-0,0001
107	29574,2583	-0,0081	0,0248	-0,0001
108	29573,0192	-0,0081	0,0000	-0,0001
109	29572,7740	-0,0081	-0,0320	-0,0135
110	29572,8008	-0,0081	-0,0205	-0,0111

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
111	29610,8136	-0,0074	0,0250	-0,0001
112	29605,2611	-0,0076	0,0000	-0,0001
113	29604,4933	-0,0076	-0,1375	-0,0540
114	29654,8166	-0,0066	0,0000	-0,0001
115	29602,8513	-0,0076	0,0000	-0,0001
116	29602,0015	-0,0076	-0,2186	-0,0829
117	29654,5649	-0,0066	-0,0339	-0,0133
118	29654,5050	-0,0066	-0,0414	-0,0168
119	29720,0956	-0,0053	0,0250	-0,0001
120	29719,5995	-0,0053	-0,0324	-0,0120
121	29792,5099	-0,0040	0,0250	-0,0001
122	29792,2934	-0,0040	-0,0205	-0,0110
123	29790,3075	-0,0040	0,0252	-0,0001
124	29789,4690	-0,0040	-0,0555	-0,0199
125	29789,0940	-0,0040	0,0000	-0,0001
126	29788,8434	-0,0040	-0,0349	-0,0127
127	29788,9414	-0,0040	-0,0090	-0,0112
128	29528,8567	-0,0090	0,0000	-0,0001
129	29527,5120	-0,0091	-0,1040	-0,0398
130	29492,0474	-0,0098	0,0000	-0,0001
131	29487,5950	-0,0099	0,0247	-0,0001
132	29486,0372	-0,0099	-0,1305	-0,0439
133	29486,7100	-0,0099	-0,0075	-0,0180
134	29472,0635	-0,0103	0,0000	-0,0001
135	29470,5951	-0,0103	-0,0858	-0,0415
136	29471,6874	-0,0103	-0,0701	-0,0245
137	29460,2702	-0,0105	0,0251	-0,0001
138	29455,9943	-0,0107	-0,0340	-0,0126
139	29457,9442	-0,0106	0,0252	-0,0001
140	29457,5530	-0,0106	-0,0414	-0,0167
141	29457,1100	-0,0106	-0,0552	-0,0332
142	29509,0412	-0,0092	0,0000	-0,0001
143	29508,7667	-0,0092	-0,0086	-0,0134
144	29508,4627	-0,0092	-0,0561	-0,0175
145	29475,5989	-0,0097	0,0248	-0,0001
146	29473,4869	-0,0098	-0,1404	-0,0483
147	29466,2464	-0,0099	0,0252	-0,0001
148	29464,6849	-0,0099	-0,2413	-0,1326
149	29465,3860	-0,0099	-0,0574	-0,0339
150	29468,1485	-0,0098	0,0247	-0,0001
151	29467,3995	-0,0098	-0,0571	-0,0248

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
152	29464,0824	-0,0099	0,0246	-0,0001
153	29463,2382	-0,0099	-0,0656	-0,0272
154	29463,3770	-0,0099	-0,0547	-0,0228
155	29465,5480	-0,0098	0,0000	-0,0001
156	29464,2419	-0,0098	0,0247	-0,0001
157	29463,8016	-0,0098	-0,0350	-0,0124
158	29463,9366	-0,0098	-0,0085	-0,0148
159	29465,2628	-0,0098	0,0000	-0,0001
160	29465,1661	-0,0098	0,0000	-0,0105
161	29465,1042	-0,0098	0,0000	-0,0001
162	29464,9081	-0,0098	-0,0075	-0,0115
163	29408,7295	-0,0121	0,0247	-0,0001
164	29407,7567	-0,0122	0,0000	-0,0001
165	29407,3841	-0,0122	-0,0247	-0,0085
166	29441,5059	-0,0111	0,0000	-0,0001
167	29438,2538	-0,0112	-0,2248	-0,0683
168	29444,1948	-0,0110	0,0000	-0,0001
169	29447,3202	-0,0109	-0,0707	-0,0225
170	29443,8221	-0,0110	-0,0340	-0,0125
171	29408,9637	-0,0122	0,0000	-0,0001
172	29412,2483	-0,0121	0,0000	-0,0001
173	29412,0064	-0,0121	-0,0165	-0,0160
174	29416,6485	-0,0120	0,0000	-0,0001
175	29414,6271	-0,0121	-0,1292	-0,0494
176	29403,6492	-0,0123	0,0000	-0,0001
177	29403,4361	-0,0123	-0,0206	-0,0103
178	29399,5697	-0,0124	0,0000	-0,0001
179	29398,1015	-0,0124	-0,0659	-0,0264
180	29398,6050	-0,0124	-0,0515	-0,0196

A.2.10 REDE REAL – RESULTADOS: SIMULAÇÃO 2

A.2.10.1 CUSTOS GERAIS

Tabela 85 - Rede real – Custos gerais – Simulação 2 (P.2)

		Custos (€)							
		<i>Pgen</i>	<i>PExgen</i>	<i>DR</i>	<i>PNE</i>	<i>stDsc</i>	<i>Market</i>	<i>Losses</i>	Total
Inicial	M.	896,1711	0,0000	557,6186	0,0000	108,0000	0,0000	6,0655	1567,8552
	E.	1280,4813	0,0000	752,6017	0,0000	108,0000	0,0000	17,8919	2158,9749
Falha 15-18	M.	917,5232	0,0000	578,7047	0,0000	84,7809	0,0000	17,3686	1598,3774
	E.	1291,7697	0,0000	799,1164	932,1065	71,7890	0,0000	48,9834	3143,7651

A.2.10.2 PRODUÇÕES

Tabela 86 - Rede real – Produções – Simulação 2 (P.2)

	Inicial				Falha 15-18			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
Barramento	<i>S (MVA)</i>	<i>P (MW)</i>	<i>Q (Mvar)</i>	<i>S (MVA)</i>	<i>S (MVA)</i>	<i>P (MW)</i>	<i>Q (Mvar)</i>	<i>S (MVA)</i>
1	4,2248	3,4325	3,1357	4,6491	4,3550	3,4836	3,1534	4,6989
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0247	0,0000	0,0247	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0252	0,0000	0,0252
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253
21	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000

	Inicial				Falha 15-18			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
25	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0247	0,0000	0,0247
27	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
31	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
37	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
39	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
43	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251
45	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
47	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
51	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
55	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
57	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
59	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
61	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
63	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
64	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
65	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
66	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
67	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
68	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
69	0,0000	0,0254	0,0000	0,0254	0,0254	0,0000	0,0000	0,0000
70	0,0000	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000
71	0,0000	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000
72	0,0000	0,0249	0,0000	0,0249	0,0249	0,0000	0,0000	0,0000
73	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000
74	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000
75	0,0000	0,0254	0,0000	0,0254	0,0254	0,0000	0,0000	0,0000
76	0,0254	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0254	0,0000	0,0254
78	0,0248	0,0247	0,0000	0,0247	0,0247	0,0248	0,0000	0,0248
79	0,0252	0,0249	0,0000	0,0249	0,0249	0,0252	0,0000	0,0252
80	0,0249	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0249	0,0000	0,0249
81	0,0251	0,0253	0,0000	0,0253	0,0253	0,0251	0,0000	0,0251
82	0,0251	0,0249	0,0000	0,0249	0,0249	0,0251	0,0000	0,0251
83	0,0254	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0254	0,0000	0,0254
84	0,0248	0,0249	0,0000	0,0249	0,0249	0,0248	0,0000	0,0248
85	0,0247	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0247	0,0000	0,0247
86	0,0249	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0249	0,0000	0,0249
87	0,0251	0,0254	0,0000	0,0254	0,0254	0,0251	0,0000	0,0251

Barramento	Inicial				Falha 15-18			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
88	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253
89	0,0249	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0249	0,0000	0,0249
91	0,0248	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0248	0,0000	0,0248
93	0,0249	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0249	0,0000	0,0249
95	0,0250	0,0253	0,0000	0,0253	0,0253	0,0250	0,0000	0,0250
97	0,0252	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0252	0,0000	0,0252
99	0,0254	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0254	0,0000	0,0254
101	0,0000	0,0258	0,0000	0,0258	0,0258	0,0000	0,0000	0,0000
103	0,0250	0,0254	0,0000	0,0254	0,0254	0,0250	0,0000	0,0250
105	0,0251	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0251	0,0000	0,0251
107	0,0253	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0253	0,0000	0,0253
109	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250
111	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
113	0,0258	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0258	0,0000	0,0258
115	0,0254	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0254	0,0000	0,0254
117	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250
119	0,0248	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0248	0,0000	0,0248
121	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000
123	0,0250	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0250	0,0000	0,0250
125	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
127	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000
129	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250
131	0,0251	0,0247	0,0000	0,0247	0,0247	0,0251	0,0000	0,0251
133	0,0252	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0252	0,0000	0,0252
135	0,0000	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000
137	0,0253	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0253	0,0000	0,0253
139	0,0247	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0247	0,0000	0,0247
141	0,0252	0,0249	0,0000	0,0249	0,0249	0,0252	0,0000	0,0252
143	0,0248	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0248	0,0000	0,0248
145	0,0251	0,0249	0,0000	0,0249	0,0249	0,0251	0,0000	0,0251
147	0,0252	0,0252	0,0000	0,0252	0,0252	0,0252	0,0000	0,0252
148	0,0249	0,0253	0,0000	0,0253	0,0253	0,0249	0,0000	0,0249
149	0,0248	0,0253	0,0000	0,0253	0,0253	0,0248	0,0000	0,0248
150	0,0249	0,0247	0,0000	0,0247	0,0247	0,0249	0,0000	0,0249
151	0,0252	0,0250	0,0000	0,0250	0,0250	0,0252	0,0000	0,0252
152	0,0253	0,0246	0,0000	0,0246	0,0246	0,0253	0,0000	0,0253
153	0,0253	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0253	0,0000	0,0253
154	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0247	0,0000	0,0247
155	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250
156	0,0246	0,0247	0,0000	0,0247	0,0247	0,0246	0,0000	0,0246
157	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
158	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000
159	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0247	0,0000	0,0247

	Inicial				Falha 15-18			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
Barramento	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
160	0,0251	0,0248	0,0000	0,0248	0,0248	0,0251	0,0000	0,0251
161	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0248	0,0000	0,0248
162	0,0000	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0000	0,0000	0,0000
163	0,0251	0,0247	0,0000	0,0247	0,0247	0,0251	0,0000	0,0251
164	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0247	0,0000	0,0247
165	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
166	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
167	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
173	0,0251	0,0251	0,0000	0,0251	0,0251	0,0251	0,0000	0,0251
Total	6,5645	6,4462	3,6716	8,1793	6,5645	4,8610	3,1534	6,0762

A.2.10.3 DEMAND RESPONSE

Tabela 87 - Rede real – Demand Response – Simulação 2 (P.2)

Barramento	Inicial (MVA)		Falha 15-18 (MVA)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0168
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,1738
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0225
10	0,0000	0,0499	0,0000	0,0499
12	0,0000	0,0137	0,0000	0,0137
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,0000	0,0343	0,0000	0,0343
20	0,0000	0,0687	0,0000	0,0687
21	0,0000	0,0342	0,0000	0,0342
23	0,0000	0,0785	0,0796	0,0785
24	0,0000	0,0137	0,0000	0,0137
26	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
28	0,0000	0,0340	0,0000	0,0340
30	0,0000	0,0278	0,0000	0,0278
32	0,0000	0,0141	0,0000	0,0141
33	0,0000	0,0314	0,0000	0,0314
35	0,0000	0,0137	0,0000	0,0137
40	0,0074	0,0000	0,0074	0,0000
41	0,0343	0,0334	0,0343	0,0334
43	0,1147	0,1110	0,1147	0,1110
45	0,0147	0,0140	0,0147	0,0140
48	0,0313	0,0308	0,0313	0,0308
49	0,0158	0,0138	0,0158	0,0138
50	0,0078	0,0000	0,0078	0,0000

Barramento	Inicial (MVA)		Falha 15-18 (MVA)	
	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
52	0,0552	0,0539	0,0552	0,0539
54	0,0717	0,0695	0,0717	0,0695
58	0,0588	0,0562	0,0588	0,0562
60	0,0478	0,0472	0,0478	0,0472
61	0,0976	0,0883	0,0976	0,0883
65	0,0764	0,0000	0,0764	0,0000
67	0,1373	0,1338	0,1373	0,1338
70	0,0717	0,0693	0,0717	0,0693
72	0,0368	0,0350	0,0368	0,0350
74	0,1995	0,1965	0,1995	0,1965
77	0,0157	0,0138	0,0157	0,0138
79	0,0158	0,0000	0,0158	0,0000
82	0,0553	0,0541	0,0553	0,0541
84	0,1143	0,1101	0,1143	0,1101
85	0,0147	0,0140	0,0147	0,0140
87	0,1566	0,1536	0,1566	0,1536
88	0,0253	0,0220	0,0253	0,0220
90	0,0200	0,0000	0,0200	0,0000
91	0,0862	0,0841	0,0862	0,0841
93	0,0286	0,0277	0,0286	0,0277
94	0,1176	0,1096	0,1176	0,1096
98	0,0784	0,0769	0,0784	0,0769
99	0,0309	0,0281	0,0309	0,0281
101	0,0079	0,0000	0,0079	0,0000
103	0,0346	0,0338	0,0346	0,0338
105	0,0461	0,0450	0,0461	0,0450
109	0,0147	0,0137	0,0147	0,0137
110	0,0313	0,0307	0,0313	0,0307
113	0,0394	0,0344	0,0394	0,0344
116	0,0249	0,0000	0,0249	0,0000
117	0,0346	0,0339	0,0346	0,0339
118	0,0286	0,0276	0,0286	0,0276
120	0,0147	0,0139	0,0147	0,0139
122	0,0000	0,0307	0,0313	0,0307
124	0,0000	0,0139	0,0156	0,0139
126	0,0038	0,0000	0,0038	0,0000
127	0,0348	0,0342	0,0348	0,0342
129	0,0716	0,0693	0,0716	0,0693
132	0,0588	0,0559	0,0588	0,0559
133	0,0501	0,0491	0,0501	0,0491
135	0,0314	0,0276	0,0314	0,0276
136	0,0073	0,0000	0,0073	0,0000
138	0,0347	0,0340	0,0347	0,0340
140	0,0286	0,0276	0,0286	0,0276

	Inicial (<i>MVA</i>)		Falha 15-18 (<i>MVA</i>)	
Barramento	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
141	0,0368	0,0344	0,0368	0,0344
143	0,0508	0,0500	0,0508	0,0500
144	0,0155	0,0140	0,0155	0,0140
146	0,0145	0,0000	0,0145	0,0000
148	0,2741	0,2666	0,2741	0,2666
149	0,0572	0,0552	0,0572	0,0552
151	0,0368	0,0352	0,0368	0,0352
153	0,0998	0,0984	0,0998	0,0984
154	0,0159	0,0137	0,0159	0,0137
157	0,0037	0,0000	0,0037	0,0000
158	0,0345	0,0336	0,0345	0,0336
160	0,0119	0,0094	0,0119	0,0094
162	0,0147	0,0139	0,0147	0,0139
165	0,0306	0,0277	0,0319	0,0315
167	0,0617	0,0562	0,0617	0,0562
169	0,0068	0,0000	0,0068	0,0000
170	0,0347	0,0340	0,0347	0,0340
173	0,0287	0,0277	0,0287	0,0277
175	0,0588	0,0554	0,0588	0,0554
177	0,0314	0,0309	0,0314	0,0309
179	0,0190	0,0165	0,0190	0,0165
180	0,0059	0,0000	0,0059	0,0000
Total	3,3795	3,5086	3,5073	3,7255

A.2.10.4 DESCARGA DO SAE

Tabela 88 - Rede real – Descarga do SAE – Simulação 2 (P.2)

	Inicial (<i>MVA</i>)		Falha 15-18 (<i>MVA</i>)	
Barramento	Mestre	Escravo	Mestre	Escravo
13	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
15	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
18	0,2000	0,2000	0,1908	0,1474
29	0,2000	0,2000	0,0735	0,0417
31	0,1000	0,1000	0,1000	0,0537
34	0,2000	0,2000	0,0777	0,0549
36	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000

A.2.10.5 ALIMENTADOR

Tabela 89 - Rede real – Alimentador – Simulação 2 (P.2)

Alimentador	Inicial				Falha 15-18			
	Mestre	Escravo			Mestre	Escravo		
	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
Produção	4,2248	3,4325	3,1357	4,6491	4,3550	3,4836	3,1534	4,6989
Trânsito B1 - B2	6,2248	5,4325	3,1357	6,2725	6,3550	5,4836	3,1534	6,3256

A.2.10.6 FLUXOS DE POTÊNCIA

Tabela 90 - Rede real – Fluxos de potência – Simulação 2 (P.2)

		Inicial						Falha 15-18			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)	Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
1	2	6,2248	5,4325	3,1357	6,2725	1	2	6,3550	5,4836	3,1534	6,3256
2	3	6,2247	5,4315	3,1346	6,2711	2	3	6,3549	5,4826	3,1523	6,3242
3	4	0,0359	0,0337	0,0123	0,0359	3	4	0,0359	0,0168	0,0073	0,0183
3	5	6,2140	5,4212	3,1189	6,2544	3	5	6,3442	5,4891	3,1415	6,3245
5	6	0,5411	0,5095	0,1817	0,5409	5	6	0,5411	0,3132	0,1227	0,3364
5	7	5,6728	4,9098	2,9338	5,7196	5	7	5,8030	5,1740	3,0153	5,9885
6	8	0,5410	0,5095	0,1815	0,5409	6	8	0,5410	0,3132	0,1226	0,3363
8	9	0,0784	0,0751	0,0226	0,0784	8	9	0,0784	0,0526	0,0159	0,0550
7	10	0,0634	0,0086	0,0138	0,0163	7	10	0,0634	0,0086	0,0138	0,0163
7	11	5,6346	4,9242	2,9157	5,7227	7	11	5,7648	5,1882	2,9968	5,9915
11	12	0,0734	0,0547	0,0225	0,0591	11	12	0,0734	0,0547	0,0225	0,0591
11	13	5,5611	4,8683	2,8910	5,6620	11	13	5,6913	5,1321	2,9719	5,9305
13	14	0,0742	0,0708	0,0221	0,0742	13	14	0,0742	0,0708	0,0221	0,0742
13	15	5,6868	4,9963	2,8667	5,7603	13	15	5,8170	5,2600	2,9474	6,0295
15	16	0,0717	0,0343	0,0108	0,0360	15	16	0,0717	0,0343	0,0108	0,0360
15	17	2,6286	2,2449	1,1501	2,5224	15	17	5,9452	5,4245	2,9342	6,1672
15	18	3,1864	2,9159	1,7035	3,3770	29	18	0,0000	0,0000	0,0485	0,0485
17	19	0,2811	0,1578	0,0785	0,1762	17	19	0,2811	0,1578	0,0785	0,1762
19	20	0,2810	0,1578	0,0784	0,1762	19	20	0,2810	0,1578	0,0784	0,1762
20	21	0,0974	0,0548	0,0343	0,0646	20	21	0,0974	0,0548	0,0343	0,0646
17	22	2,3474	2,0867	1,0709	2,3455	17	22	5,6640	5,2645	2,8521	5,9874
22	23	2,2739	2,0307	1,0463	2,2844	22	23	5,5905	5,2016	2,8165	5,9152
22	24	0,0734	0,0547	0,0225	0,0591	22	24	0,0734	0,0547	0,0225	0,0591
18	25	0,1907	0,1473	0,0484	0,1550	18	25	0,1907	0,1473	0,0484	0,1550
25	26	0,1188	0,1134	0,0354	0,1188	25	26	0,1188	0,1134	0,0354	0,1188
25	27	0,0718	0,0340	0,0129	0,0364	25	27	0,0718	0,0340	0,0129	0,0364

		Inicial						Falha 15-18			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)	Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
27	28	0,0717	0,0340	0,0128	0,0363	27	28	0,0717	0,0340	0,0128	0,0363
18	29	3,1956	2,9670	1,6521	3,3960	31	29	0,0735	0,0417	0,0641	0,0765
29	30	0,0734	0,0417	0,0154	0,0445	29	30	0,0734	0,0417	0,0154	0,0445
29	31	3,3221	3,1233	1,6331	3,5245	34	31	0,1265	0,0328	0,0822	0,0885
31	32	0,0490	0,0328	0,0102	0,0343	31	32	0,0490	0,0209	0,0102	0,0233
31	33	0,0551	0,0209	0,0079	0,0223	31	33	0,0551	0,0549	0,0079	0,0555
31	34	3,3179	3,1679	1,6117	3,5543	36	34	0,0000	0,0000	0,1043	0,1043
34	35	0,0734	0,0549	0,0219	0,0591	34	35	0,0734	0,0000	0,0219	0,0219
34	36	3,4444	3,3107	1,5856	3,6708	95	36	1,8911	1,6204	0,7621	1,7907
36	37	3,3200	3,2005	1,4583	3,5171	36	37	1,9910	1,7170	0,6527	1,8369
37	38	3,3199	3,1974	1,4528	3,5120	37	38	1,9909	1,7160	0,6510	1,8353
38	39	0,1044	0,1033	0,0413	0,1113	38	39	0,1044	0,1033	0,0413	0,1113
39	40	0,0668	0,0700	0,0248	0,0743	39	40	0,0668	0,0700	0,0248	0,0743
39	41	0,0375	0,0334	0,0164	0,0372	39	41	0,0375	0,0334	0,0164	0,0372
38	42	3,2154	3,0927	1,4090	3,3985	38	42	1,8864	1,6123	0,6089	1,7234
42	43	0,1790	0,1665	0,0627	0,1779	42	43	0,1790	0,1665	0,0627	0,1779
42	44	3,0363	2,9258	1,3455	3,2204	42	44	1,7073	1,4457	0,5459	1,5453
44	45	0,0343	0,0327	0,0107	0,0344	44	45	0,0343	0,0327	0,0107	0,0344
44	46	3,0019	2,8914	1,3317	3,1833	44	46	1,6729	1,4126	0,5343	1,5103
46	47	0,0815	0,0755	0,0325	0,0822	46	47	0,0815	0,0755	0,0325	0,0822
47	48	0,0237	0,0205	0,0108	0,0232	47	48	0,0237	0,0205	0,0108	0,0232
47	49	0,0577	0,0550	0,0216	0,0591	47	49	0,0577	0,0550	0,0216	0,0591
46	50	0,0664	0,0695	0,0260	0,0742	46	50	0,0664	0,0695	0,0260	0,0742
46	51	2,8540	2,7454	1,2714	3,0255	46	51	1,5249	1,2673	0,4753	1,3535
51	52	0,0596	0,0539	0,0234	0,0588	51	52	0,0596	0,0539	0,0234	0,0588
51	53	2,7942	2,6902	1,2455	2,9645	51	53	1,4652	1,2131	0,4513	1,2943
53	54	0,1118	0,1043	0,0381	0,1110	53	54	0,1118	0,1043	0,0381	0,1110
53	55	2,6823	2,5846	1,2051	2,8517	53	55	1,3533	1,1086	0,4126	1,1829
55	56	0,1723	0,1626	0,0522	0,1708	55	56	0,1723	0,1626	0,0522	0,1708
56	57	0,1373	0,1311	0,0410	0,1374	56	57	0,1373	0,1311	0,0410	0,1374
57	58	0,1372	0,1311	0,0409	0,1373	57	58	0,1372	0,1311	0,0409	0,1373
56	59	0,0349	0,0315	0,0111	0,0334	56	59	0,0349	0,0315	0,0111	0,0334
59	60	0,0348	0,0315	0,0110	0,0334	59	60	0,0348	0,0315	0,0110	0,0334
55	61	0,3650	0,3532	0,1122	0,3706	55	61	0,3650	0,3532	0,1122	0,3706
55	62	2,1449	2,0674	1,0382	2,3134	55	62	0,8159	0,5925	0,2476	0,6422
62	63	0,8158	0,8318	0,3195	0,8911	62	63	0,8158	0,5924	0,2473	0,6419
63	64	0,6660	0,6976	0,2551	0,7428	63	64	0,6660	0,4584	0,1831	0,4936
64	65	0,6659	0,6973	0,2546	0,7423	64	65	0,6659	0,4583	0,1828	0,4934
63	66	0,1497	0,1338	0,0637	0,1482	63	66	0,1497	0,1338	0,0637	0,1482
66	67	0,1496	0,1338	0,0636	0,1481	66	67	0,1496	0,1338	0,0636	0,1481
62	68	1,3290	1,2344	0,7164	1,4272	69	68	0,2944	0,2722	0,1262	0,3000
68	69	1,0347	0,9617	0,5894	1,1279	71	69	0,3561	0,3260	0,1660	0,3658
69	70	0,0871	0,0791	0,0397	0,0885	69	70	0,0871	0,0791	0,0397	0,0885

		Inicial						Falha 15-18			
		Mestre		Escravo				Mestre		Escravo	
Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
69	71	0,9729	0,9075	0,5490	1,0606	73	71	0,3919	0,3577	0,1932	0,4065
71	72	0,0609	0,0568	0,0269	0,0628	71	72	0,0609	0,0568	0,0269	0,0628
71	73	0,9371	0,8756	0,5214	1,0191	74	73	0,3669	0,3326	0,1933	0,3847
73	74	0,9621	0,9003	0,5208	1,0401	75	74	0,4892	0,4386	0,2487	0,5042
74	75	0,8398	0,7942	0,4653	0,9205	76	75	0,4639	0,4132	0,2488	0,4823
75	76	0,8651	0,8194	0,4651	0,9422	78	76	0,4970	0,4439	0,2696	0,5194
76	77	0,0577	0,0553	0,0204	0,0589	76	77	0,0577	0,0553	0,0204	0,0589
76	78	0,8321	0,7887	0,4443	0,9052	80	78	0,5801	0,5333	0,3226	0,6233
78	79	0,1077	0,1139	0,0526	0,1255	78	79	0,1077	0,1139	0,0526	0,1255
78	80	0,7489	0,6991	0,3909	0,8010	86	80	0,7035	0,6355	0,4252	0,7646
80	81	0,3087	0,2877	0,1532	0,3259	80	81	0,0093	0,0038	0,0221	0,0224
81	82	0,3339	0,3130	0,1530	0,3484	81	82	0,0345	0,0292	0,0220	0,0366
80	83	0,1391	0,1232	0,0800	0,1469	80	83	0,1391	0,1232	0,0800	0,1469
83	84	0,1544	0,1403	0,0693	0,1565	83	84	0,1544	0,1403	0,0693	0,1565
83	85	0,0093	0,0077	0,0107	0,0132	83	85	0,0093	0,0077	0,0107	0,0132
80	86	0,3261	0,3130	0,1572	0,3503	89	86	0,8640	0,7757	0,5162	0,9318
86	87	0,0934	0,0770	0,0552	0,0947	86	87	0,0934	0,0770	0,0552	0,0947
86	88	0,0922	0,0879	0,0349	0,0946	86	88	0,0922	0,0879	0,0349	0,0946
86	89	0,1656	0,1732	0,0669	0,1857	91	89	1,0296	0,9493	0,5837	1,1144
89	90	0,1655	0,1732	0,0668	0,1856	89	90	0,1655	0,1732	0,0668	0,1856
133	91	0,0682	0,0591	0,0369	0,0697	133	91	1,0978	1,0093	0,6219	1,1855
68	92	0,2943	0,2722	0,1260	0,2999	68	92	0,2943	0,2722	0,1260	0,2999
92	93	0,0197	0,0164	0,0163	0,0231	92	93	0,0197	0,0164	0,0163	0,0231
92	94	0,2745	0,2557	0,1096	0,2782	92	94	0,2745	0,2557	0,1096	0,2782
36	95	0,2243	0,2079	0,1232	0,2417	96	95	1,8659	1,5964	0,7643	1,7699
95	96	0,2495	0,2332	0,1230	0,2636	100	96	2,0163	1,7359	0,8278	1,9232
96	97	0,1503	0,1386	0,0620	0,1518	96	97	0,1503	0,1386	0,0620	0,1518
97	98	0,0593	0,0513	0,0272	0,0581	97	98	0,0593	0,0513	0,0272	0,0581
97	99	0,1159	0,1123	0,0347	0,1175	97	99	0,1159	0,1123	0,0347	0,1175
96	100	0,0990	0,0945	0,0609	0,1124	102	100	2,0570	1,7811	0,8567	1,9764
100	101	0,0405	0,0436	0,0262	0,0509	100	101	0,0405	0,0436	0,0262	0,0509
100	102	0,0584	0,0509	0,0346	0,0615	104	102	2,0689	1,7911	0,8732	1,9926
102	103	0,0118	0,0084	0,0139	0,0162	102	103	0,0118	0,0084	0,0139	0,0162
102	104	0,0465	0,0425	0,0206	0,0472	106	104	2,1153	1,8361	0,8979	2,0439
104	105	0,0464	0,0425	0,0205	0,0472	104	105	0,0464	0,0425	0,0205	0,0472
107	106	1,5595	1,4538	0,7473	1,6346	107	106	5,0026	4,5373	2,3859	5,1264
111	107	1,5930	1,4828	0,7740	1,6727	111	107	5,0361	4,5780	2,4302	5,1830
107	108	0,0582	0,0525	0,0247	0,0580	107	108	0,0582	0,0525	0,0247	0,0580
108	109	0,0343	0,0320	0,0135	0,0347	108	109	0,0343	0,0320	0,0135	0,0347
108	110	0,0238	0,0205	0,0111	0,0233	108	110	0,0238	0,0205	0,0111	0,0233
114	111	1,9213	1,8159	0,9143	2,0331	114	111	5,3644	4,9241	2,5898	5,5636
111	112	0,3532	0,3562	0,1373	0,3817	111	112	0,3532	0,3562	0,1373	0,3817
112	113	0,1441	0,1375	0,0541	0,1478	112	113	0,1441	0,1375	0,0541	0,1478

		Inicial						Falha 15-18			
		Mestre	Escravo					Mestre	Escravo		
Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)	Barramentos		S (<i>MVA</i>)	P (<i>MW</i>)	Q (<i>Mvar</i>)	S (<i>MVA</i>)
119	114	2,0034	1,8942	0,9490	2,1186	119	114	5,4464	5,0212	2,6527	5,6788
112	115	0,2090	0,2186	0,0831	0,2339	112	115	0,2090	0,2186	0,0831	0,2339
115	116	0,2089	0,2186	0,0830	0,2338	115	116	0,2089	0,2186	0,0830	0,2338
114	117	0,0371	0,0339	0,0133	0,0364	114	117	0,0371	0,0339	0,0133	0,0364
114	118	0,0448	0,0414	0,0168	0,0447	114	118	0,0448	0,0414	0,0168	0,0447
121	119	2,0128	1,9048	0,9660	2,1357	121	119	5,4558	5,0527	2,7010	5,7293
119	120	0,0343	0,0324	0,0120	0,0346	119	120	0,0343	0,0324	0,0120	0,0346
23	121	2,1363	1,9773	1,0256	2,2275	23	121	5,5324	5,1426	2,7867	5,8491
121	122	0,0551	0,0205	0,0110	0,0233	121	122	0,0237	0,0205	0,0110	0,0233
121	123	0,0934	0,0741	0,0440	0,0862	121	123	0,0777	0,0741	0,0440	0,0862
123	124	0,0734	0,0555	0,0199	0,0590	123	124	0,0578	0,0555	0,0199	0,0590
123	125	0,0450	0,0438	0,0240	0,0499	123	125	0,0450	0,0438	0,0240	0,0499
125	126	0,0333	0,0349	0,0127	0,0371	125	126	0,0333	0,0349	0,0127	0,0371
125	127	0,0116	0,0090	0,0112	0,0144	125	127	0,0116	0,0090	0,0112	0,0144
106	128	0,8926	0,8437	0,3734	0,9226	106	128	1,9222	1,7996	0,9671	2,0430
128	129	0,1119	0,1040	0,0398	0,1114	128	129	0,1119	0,1040	0,0398	0,1114
128	130	0,7806	0,7394	0,3330	0,8109	128	130	1,8102	1,6941	0,9247	1,9300
130	131	0,1936	0,1724	0,0988	0,1987	130	131	1,2233	1,1238	0,6856	1,3164
131	132	0,1372	0,1305	0,0439	0,1377	131	132	0,1372	0,1305	0,0439	0,1377
131	133	0,0810	0,0666	0,0548	0,0862	131	133	1,1106	1,0171	0,6403	1,2019
130	134	0,5868	0,5663	0,2331	0,6124	130	134	0,5868	0,5664	0,2332	0,6125
134	135	0,0907	0,0858	0,0415	0,0953	134	135	0,0907	0,0858	0,0415	0,0953
134	136	0,0669	0,0701	0,0245	0,0743	134	136	0,0669	0,0701	0,0245	0,0743
134	137	0,4292	0,4102	0,1667	0,4428	134	137	0,4292	0,4102	0,1667	0,4428
137	138	0,3737	0,3638	0,1164	0,3820	137	138	0,3737	0,3638	0,1164	0,3820
137	139	0,0805	0,0714	0,0500	0,0872	137	139	0,0805	0,0714	0,0500	0,0872
139	140	0,0448	0,0414	0,0167	0,0446	139	140	0,0448	0,0414	0,0167	0,0446
139	141	0,0608	0,0553	0,0332	0,0645	139	141	0,0608	0,0553	0,0332	0,0645
106	142	0,6669	0,6090	0,3722	0,7137	106	142	0,9650	0,8906	0,5043	1,0235
142	143	0,0125	0,0086	0,0134	0,0159	142	143	0,0125	0,0086	0,0134	0,0159
142	144	0,0580	0,0561	0,0175	0,0588	142	144	0,0580	0,0561	0,0175	0,0588
142	145	0,5963	0,5438	0,3404	0,6416	142	145	0,8944	0,8249	0,4717	0,9502
145	146	0,1340	0,1404	0,0483	0,1485	145	146	0,1340	0,1404	0,0483	0,1485
145	147	0,3138	0,2735	0,1667	0,3203	145	147	0,3138	0,2735	0,1667	0,3203
147	148	0,2746	0,2413	0,1326	0,2753	147	148	0,2746	0,2413	0,1326	0,2753
147	149	0,0643	0,0574	0,0339	0,0667	147	149	0,0643	0,0574	0,0339	0,0667
145	150	0,1733	0,1543	0,1246	0,1983	145	150	0,4714	0,4348	0,2551	0,5041
150	151	0,0608	0,0571	0,0248	0,0623	150	151	0,0608	0,0571	0,0248	0,0623
150	152	0,1067	0,0956	0,0500	0,1079	150	152	0,1067	0,0956	0,0501	0,1079
152	153	0,0736	0,0656	0,0272	0,0710	152	153	0,0736	0,0656	0,0272	0,0710
152	154	0,0576	0,0547	0,0228	0,0593	152	154	0,0576	0,0547	0,0228	0,0593
150	155	0,0305	0,0263	0,0497	0,0562	150	155	0,3286	0,3066	0,1798	0,3554
155	156	0,0210	0,0188	0,0273	0,0331	155	156	0,0210	0,0188	0,0273	0,0331

Inicial						Falha 15-18					
		Mestre		Escravo				Mestre		Escravo	
Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)	Barramentos		S (MVA)	P (MW)	Q (Mvar)	S (MVA)
156	157	0,0334	0,0350	0,0124	0,0371	156	157	0,0334	0,0350	0,0124	0,0371
156	158	0,0121	0,0085	0,0148	0,0171	156	158	0,0121	0,0085	0,0148	0,0171
155	159	0,0001	0,0000	0,0106	0,0106	155	159	0,0001	0,0000	0,0106	0,0106
159	160	0,0000	0,0000	0,0105	0,0105	159	160	0,0000	0,0000	0,0105	0,0105
155	161	0,0094	0,0075	0,0116	0,0138	155	161	0,3075	0,2877	0,1416	0,3207
161	162	0,0093	0,0075	0,0115	0,0137	161	162	0,0093	0,0075	0,0115	0,0137
171	163	0,0000	0,0000	0,0087	0,0087	161	163	0,2981	0,2801	0,1299	0,3088
163	164	0,0246	0,0247	0,0086	0,0262	163	164	0,0233	0,0210	0,0075	0,0223
164	165	0,0245	0,0247	0,0085	0,0261	164	165	0,0232	0,0210	0,0074	0,0223
168	166	0,2320	0,2249	0,0685	0,2351	168	166	0,2320	0,2249	0,0685	0,2351
166	167	0,2319	0,2249	0,0683	0,2350	166	167	0,2319	0,2249	0,0683	0,2350
169	168	0,2692	0,2589	0,0811	0,2713	169	168	0,2692	0,2589	0,0811	0,2713
138	169	0,3366	0,3297	0,1037	0,3456	138	169	0,3366	0,3297	0,1038	0,3457
168	170	0,0370	0,0340	0,0125	0,0362	168	170	0,0370	0,0340	0,0125	0,0362
172	171	0,1423	0,1380	0,0653	0,1527	163	171	0,2994	0,2838	0,1222	0,3090
174	172	0,1621	0,1545	0,0814	0,1746	171	172	0,1571	0,1458	0,0656	0,1599
172	173	0,0197	0,0165	0,0160	0,0230	172	173	0,0197	0,0165	0,0160	0,0230
82	174	0,2994	0,2838	0,1310	0,3126	172	174	0,1373	0,1292	0,0495	0,1384
174	175	0,1372	0,1292	0,0494	0,1383	174	175	0,1372	0,1292	0,0494	0,1383
171	176	0,1422	0,1380	0,0565	0,1491	171	176	0,1422	0,1380	0,0565	0,1491
176	177	0,0236	0,0206	0,0103	0,0230	176	177	0,0236	0,0206	0,0103	0,0230
176	178	0,1184	0,1174	0,0460	0,1261	176	178	0,1184	0,1174	0,0460	0,1261
178	179	0,0691	0,0659	0,0264	0,0710	178	179	0,0691	0,0659	0,0264	0,0710
178	180	0,0492	0,0515	0,0196	0,0551	178	180	0,0492	0,0515	0,0196	0,0551

A.2.10.7 TENSÃO, ÂNGULO E POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA INJETADAS NOS BARRAMENTOS

Tabela 91 - Rede real – Tensão, ângulo e potências ativa e reativa inj. – S.2 (P.2)

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
1	30000,0000	0,0000	5,4836	3,1534
2	29993,4770	-0,0001	0,0000	-0,0001
3	29977,6771	-0,0004	0,0252	-0,0001
4	29977,5164	-0,0004	-0,0168	-0,0073
5	29961,8872	-0,0007	0,0000	-0,0001
6	29960,1614	-0,0007	0,0000	-0,0001
7	29939,3439	-0,0011	0,0253	-0,0001

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
8	29959,7206	-0,0007	-0,2607	-0,1067
9	29959,6166	-0,0007	-0,0526	-0,0159
10	29939,1012	-0,0011	-0,0086	-0,0138
11	29928,0835	-0,0014	0,0000	-0,0001
12	29927,7759	-0,0014	-0,0547	-0,0225
13	29916,9260	-0,0016	0,2000	-0,0001
14	29916,3253	-0,0016	-0,0708	-0,0221
15	29905,6752	-0,0018	0,2000	-0,0001
16	29905,3254	-0,0018	-0,0343	-0,0108
17	29888,5088	-0,0021	0,0000	-0,0001
18	28614,3895	-0,0265	0,1473	-0,0001
19	29887,2256	-0,0022	0,0000	-0,0001
20	29886,9267	-0,0022	-0,1031	-0,0441
21	29886,8592	-0,0022	-0,0548	-0,0343
22	29821,7995	-0,0034	0,0000	-0,0001
23	29766,7603	-0,0045	-0,0523	-0,0192
24	29821,1820	-0,0034	-0,0547	-0,0225
25	28612,1406	-0,0265	0,0000	-0,0001
26	28611,3367	-0,0266	-0,1134	-0,0354
27	28612,0113	-0,0265	0,0000	-0,0001
28	28611,9866	-0,0265	-0,0340	-0,0128
29	28614,8435	-0,0265	0,0000	-0,0001
30	28613,6509	-0,0265	-0,0417	-0,0154
31	28615,5428	-0,0265	0,0954	-0,0001
32	28615,2526	-0,0265	-0,0328	-0,0102
33	28614,3549	-0,0265	-0,0209	-0,0079
34	28616,3667	-0,0265	0,0549	-0,0001
35	28615,5154	-0,0265	-0,0549	-0,0219
36	28617,3420	-0,0265	0,1000	-0,0001
37	28595,1248	-0,0271	0,0000	-0,0001
38	28585,4734	-0,0274	0,0000	-0,0001
39	28583,6697	-0,0275	0,0000	-0,0001
40	28582,8914	-0,0275	-0,0700	-0,0248
41	28583,2466	-0,0275	-0,0334	-0,0164
42	28582,4550	-0,0275	0,0000	-0,0001
43	28581,8233	-0,0275	-0,1665	-0,0627
44	28570,7279	-0,0279	0,0000	-0,0001
45	28570,6099	-0,0279	-0,0327	-0,0107
46	28563,6679	-0,0281	0,0000	-0,0001
47	28562,9129	-0,0281	0,0000	-0,0001
48	28562,7785	-0,0281	-0,0205	-0,0108
49	28562,4888	-0,0281	-0,0550	-0,0216

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
50	28563,2729	-0,0281	-0,0695	-0,0260
51	28554,1332	-0,0283	0,0000	-0,0001
52	28551,9454	-0,0284	-0,0539	-0,0234
53	28545,0318	-0,0286	0,0000	-0,0001
54	28543,3770	-0,0286	-0,1043	-0,0381
55	28535,5220	-0,0289	0,0000	-0,0001
56	28533,7712	-0,0289	0,0000	-0,0001
57	28533,0714	-0,0289	0,0000	-0,0001
58	28532,8426	-0,0289	-0,1311	-0,0409
59	28533,3628	-0,0289	0,0000	-0,0001
60	28533,2735	-0,0289	-0,0315	-0,0110
61	28522,6948	-0,0292	-0,3530	-0,1120
62	28528,1978	-0,0291	0,0000	-0,0001
63	28512,3958	-0,0294	0,0000	-0,0001
64	28501,8679	-0,0297	0,0000	-0,0001
65	28500,0000	-0,0297	-0,4582	-0,1828
66	28510,9975	-0,0295	0,0000	-0,0001
67	28510,4323	-0,0295	-0,1338	-0,0636
68	28569,3928	-0,0261	0,0000	-0,0001
69	28573,8828	-0,0260	0,0254	-0,0001
70	28573,5451	-0,0260	-0,0791	-0,0397
71	28578,7845	-0,0259	0,0252	-0,0001
72	28577,3917	-0,0259	-0,0568	-0,0269
73	28585,8849	-0,0257	0,0251	-0,0001
74	28589,2461	-0,0257	-0,1059	-0,0553
75	28592,5486	-0,0257	0,0254	-0,0001
76	28597,3471	-0,0256	0,0248	-0,0001
77	28596,6436	-0,0256	-0,0553	-0,0204
78	28609,4882	-0,0254	0,0247	-0,0001
79	28608,0830	-0,0255	-0,1139	-0,0526
80	28624,0397	-0,0252	0,0251	-0,0001
81	28623,5097	-0,0252	0,0253	-0,0001
82	28623,3883	-0,0252	-0,0292	-0,0220
83	28621,0567	-0,0252	0,0248	-0,0001
84	28617,5635	-0,0253	-0,1402	-0,0692
85	28621,0278	-0,0252	-0,0077	-0,0107
86	28637,0446	-0,0250	0,0252	-0,0001
87	28635,7386	-0,0250	-0,0770	-0,0552
88	28636,0254	-0,0250	-0,0879	-0,0349
89	28662,3507	-0,0246	0,0000	-0,0001
90	28659,0041	-0,0247	-0,1731	-0,0667
91	28680,9601	-0,0243	-0,0591	-0,0368

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
92	28563,7259	-0,0262	0,0000	-0,0001
93	28563,1406	-0,0262	-0,0164	-0,0163
94	28559,4236	-0,0263	-0,2557	-0,1096
95	28701,5054	-0,0247	0,0253	-0,0001
96	28734,6843	-0,0240	0,0000	-0,0001
97	28732,7987	-0,0240	0,0250	-0,0001
98	28732,2409	-0,0241	-0,0513	-0,0272
99	28731,7951	-0,0241	-0,1123	-0,0347
100	28756,2798	-0,0235	0,0000	-0,0001
101	28755,7768	-0,0235	-0,0436	-0,0262
102	28793,2954	-0,0227	0,0000	-0,0001
103	28793,1153	-0,0227	-0,0084	-0,0139
104	28830,6922	-0,0219	0,0000	-0,0001
105	28830,2507	-0,0219	-0,0425	-0,0205
106	28888,1512	-0,0206	0,0000	-0,0001
107	28986,3819	-0,0188	0,0248	-0,0001
108	28985,1177	-0,0188	0,0000	-0,0001
109	28984,8675	-0,0188	-0,0320	-0,0135
110	28984,8948	-0,0188	-0,0205	-0,0111
111	29102,0256	-0,0166	0,0250	-0,0001
112	29096,3760	-0,0168	0,0000	-0,0001
113	29095,5948	-0,0168	-0,1375	-0,0540
114	29225,3749	-0,0143	0,0000	-0,0001
115	29093,9240	-0,0168	0,0000	-0,0001
116	29093,0593	-0,0168	-0,2186	-0,0829
117	29225,1195	-0,0143	-0,0339	-0,0133
118	29225,0587	-0,0143	-0,0414	-0,0168
119	29404,2752	-0,0110	0,0250	-0,0001
120	29403,7738	-0,0110	-0,0324	-0,0120
121	29601,9948	-0,0074	0,0250	-0,0001
122	29601,7770	-0,0074	-0,0205	-0,0110
123	29599,7782	-0,0074	0,0252	-0,0001
124	29598,9343	-0,0075	-0,0555	-0,0199
125	29598,5569	-0,0075	0,0000	-0,0001
126	29598,3047	-0,0075	-0,0349	-0,0127
127	29598,4033	-0,0075	-0,0090	-0,0112
128	28852,8881	-0,0213	0,0000	-0,0001
129	28851,5119	-0,0214	-0,1040	-0,0398
130	28759,2226	-0,0231	0,0000	-0,0001
131	28728,5818	-0,0236	0,0247	-0,0001
132	28726,9829	-0,0236	-0,1305	-0,0439
133	28716,5634	-0,0238	-0,0075	-0,0180

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada (Mvar)
134	28738,7275	-0,0235	0,0000	-0,0001
135	28737,2216	-0,0236	-0,0858	-0,0415
136	28738,3418	-0,0235	-0,0701	-0,0245
137	28726,6325	-0,0238	0,0251	-0,0001
138	28722,2471	-0,0239	-0,0340	-0,0126
139	28724,2471	-0,0239	0,0252	-0,0001
140	28723,8459	-0,0239	-0,0414	-0,0167
141	28723,3915	-0,0239	-0,0552	-0,0332
142	28838,1284	-0,0215	0,0000	-0,0001
143	28837,8475	-0,0215	-0,0086	-0,0134
144	28837,5365	-0,0215	-0,0561	-0,0175
145	28788,3996	-0,0224	0,0248	-0,0001
146	28786,2372	-0,0224	-0,1404	-0,0483
147	28778,8236	-0,0225	0,0252	-0,0001
148	28777,2249	-0,0226	-0,2413	-0,1326
149	28777,9427	-0,0226	-0,0574	-0,0339
150	28770,1294	-0,0227	0,0247	-0,0001
151	28769,3622	-0,0227	-0,0571	-0,0248
152	28765,9647	-0,0228	0,0246	-0,0001
153	28765,0999	-0,0228	-0,0656	-0,0272
154	28765,2421	-0,0228	-0,0547	-0,0228
155	28754,8950	-0,0230	0,0000	-0,0001
156	28753,5566	-0,0230	0,0247	-0,0001
157	28753,1054	-0,0230	-0,0350	-0,0124
158	28753,2437	-0,0230	-0,0085	-0,0148
159	28754,6028	-0,0229	0,0000	-0,0001
160	28754,5036	-0,0229	0,0000	-0,0105
161	28745,7392	-0,0231	0,0000	-0,0001
162	28745,5383	-0,0231	-0,0075	-0,0115
163	28738,0060	-0,0233	0,0247	-0,0001
164	28737,1532	-0,0233	0,0000	-0,0001
165	28736,8267	-0,0233	-0,0210	-0,0074
166	28707,3880	-0,0244	0,0000	-0,0001
167	28704,0527	-0,0245	-0,2248	-0,0683
168	28710,1458	-0,0243	0,0000	-0,0001
169	28713,3511	-0,0242	-0,0707	-0,0225
170	28709,7635	-0,0243	-0,0340	-0,0125
171	28729,4480	-0,0235	0,0000	-0,0001
172	28725,9681	-0,0236	0,0000	-0,0001
173	28725,7204	-0,0236	-0,0165	-0,0160
174	28722,6530	-0,0237	0,0000	-0,0001
175	28720,5827	-0,0237	-0,1292	-0,0494

Escravo				
Barramento	Tensão (V)	Ângulo (θ)	Pot. Ativa Injetada (MVA)	Pot. Reativa Injetada ($Mvar$)
176	28724,0077	-0,0236	0,0000	-0,0001
177	28723,7895	-0,0236	-0,0206	-0,0103
178	28719,8316	-0,0237	0,0000	-0,0001
179	28718,3286	-0,0238	-0,0659	-0,0264
180	28718,8440	-0,0238	-0,0515	-0,0196